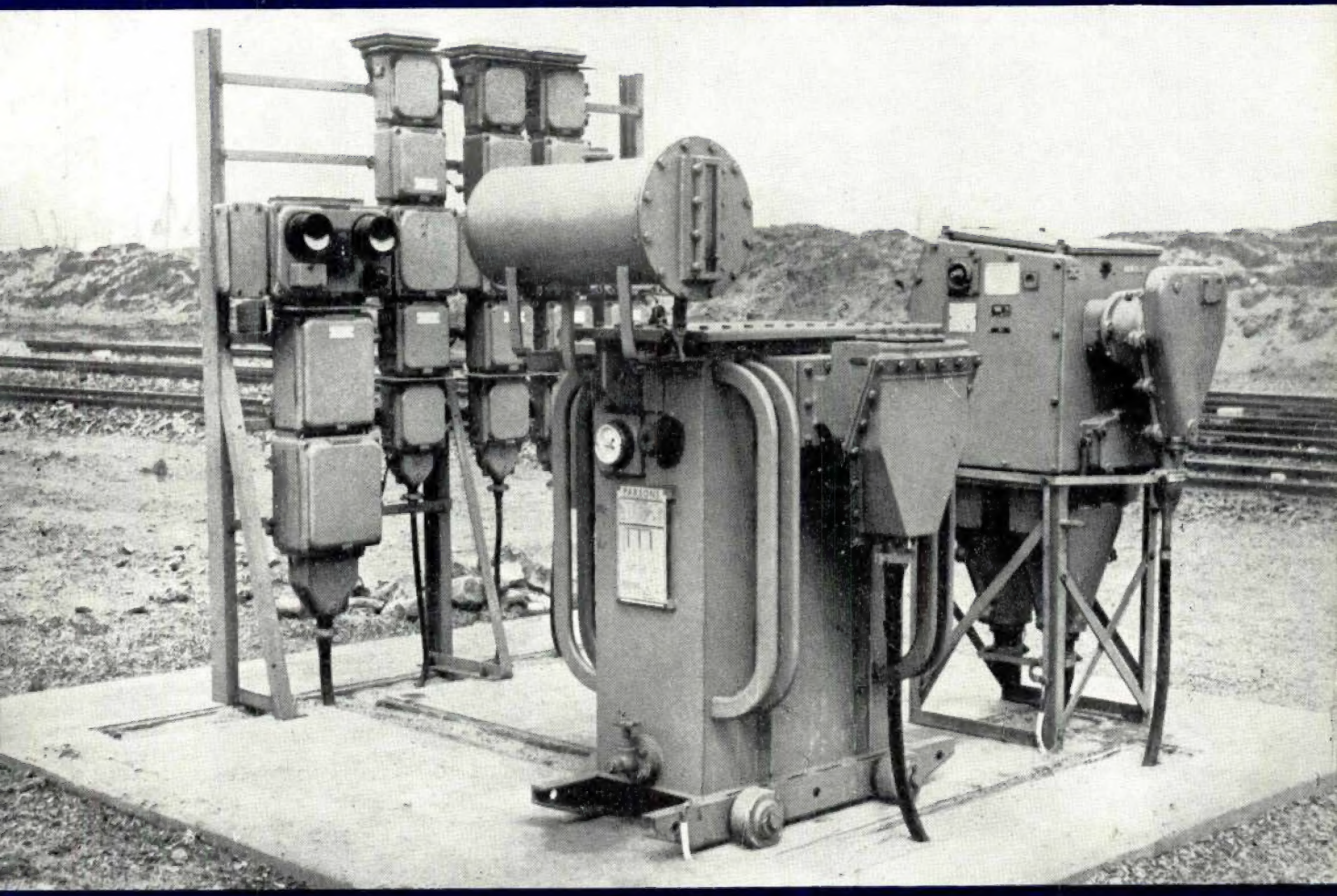
# TÉCNICA



## REVISTA DE ENGENHARIA
## DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 301 – ABRIL – 1960

# CIMENTO SECIL

**Fábrica:**

Outão — Setúbal

**Telef. 028824/5**

**Escritório:**

R. do Comércio, 56-3.º

**LISBOA 2**

**Telef. 28201/2/3**

Desde o
Distrito de **VIANA DO CASTELO**
ao de **LEIRIA** e nos Distritos
de **SETÚBAL** e **ÉVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

**ELECTRICIDADE**

para

**FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as maiores facilidades,**

pela

# UNIÃO ELECTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

| | |
|---|---|
| Thérmica do FREIXO ..... | 22.000 CV |
| Hidráulica do LINDOSO..... | 100.000 CV |
| Thérmica da CACHOFARRA... | 14.000 CV |

**Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:**

**NO PORTO** Rua Duque de Loulé, 148
**EM LISBOA** Rua Rosa Araújo, 35

# MARS-LUMOGRAPH

## Lembre-se das cópias heliográficas!

Se a cópia demonstra impecável nitidez, depende do material de desenho utilizado no original.

Em todo o mundo os engenheiros e arquitectos apreciam no material moderno de desenho MARS-LUMOGRAPH ao lado das suas múltiplas vantagens, especialmente a sua propriedade heliográfica. Nós temos ao dispor o material de desenho MARS-LUMOGRAPH em 19 graduações como minas, lapiseiras e lápis de desenho. As lapiseiras de desenho MARS-LUMOGRAPH já famosas fornecem-se com afia-minas próprio situado no botão de pressão.

STAEDTLER

**PAPELARIA FERNANDES**
S. A. R. L.
**Rua do Ouro, 145/149** **Largo do Rato, 13**
LISBOA

# TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXIV - N.º 301 Abril de 1960

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

**DIRECTOR**
ALEXANDRE CERVEIRA

**ADMINISTRADOR**
JORGE GONÇALVES CALADO

**SECRETÁRIO**
HENRIQUE TELLES ANTUNES

**REDACTORES**
JOSÉ FERNANDO PINHARANDA
VÍTOR GRAVETO
CARLOS PENA

★

NUMERO AVULSO 12$50

**ASSINATURAS:**

| | 3 N.os | 5 N.os | 10 N.os |
|---|---|---|---|
| Continente e Ilhas | 32$50 | 50$00 | 95$00 |
| Ultramar Português e Espanha | — | 55$00 | 100$00 |
| Estrangeiro | — | 80$00 | 110$00 |

★

**EDITOR E PROPRIETÁRIO**
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

★

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

# SUMÁRIO

**CAPA — Posto de transformação blindado, ao ar livre, em Lourenço Marques — Caminhos de Ferro, Portos e Transportes de Moçambique**

Págs.

**Ao nível da Associação dos sete**
Pelo Eng.º Artur Cardoso Pereira . . . . . 373

**Algumas considerações sobre a aplicação dos aços de alta resistência no moderno betão armado**
Pelo Eng.º Luís Arouca . . . . . 375

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** . . . . . 386 e 402

**Determinação da espessura de meios materiais pelo método de absorção da radiação γ**
Por Carlos Lloyd Braga . . . . . 387

**Equação dos círculos de perdas e dos círculos de rendimento no cálculo eléctrico de uma linha**
Pelo Eng.º Rui Humberto Cordeiro . . . . . 403

**Cromatografia em fase gasosa**
Por Maria Margarida Helena da Silva e Carmo . . . . . 411

**Estudo dinâmico de cames em motores rápidos**
Por Júlio César Santos da Silva Bento e João Barreto Nogueira Ramos . . . . . 425

**Biblioteca** . . . . . 434

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

# Índice Alfabético dos nossos anunciantes


Pág.

## A

A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XLI
Alexander Machinery . . . . . XXXVIII
Anhydro . . . . . XXXI
Azevedo & Pessi, Ltd. . . . . XXXIX

## C

Caldeiras Barès . . . . . XLIV
Ceresite . . . . . XLV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos «Tejo» . . XLIX
Companhia de Cimentos Brancos . . XII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos . . . . . XIV
Companhia Portuguesa dos Petróleos BP . . . . . XXXVII
Companhia União Fabril. . . . . XVIII
Construções Técnicas, Ltd.ª . . . . . XXIX
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XLVIII

## D

Decauto . . . . . XXVIII

## E

E. Brunner & C.ª, Lda. . . . . XXVIII
Elektrim . . . . . XXXV
Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . XLV
EFAACEC . . . . . XXX
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª . . . . . XIX
Empresa Electro Cerâmica . . . . . XI
Empresa de Fundações Capblanch, Lda. . . . . XXXIV
Empresa Nacional de Aparelhagem Eléctrica . . . . . XXXII
Empresa de Produtos Asfálticos. . . VII
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos . . . . . XIII
Eng.º Augusto Cavaco . . . . . XLIX
Estabelecimentos Herold . . . . . XLVI

## F

Fabber Castell . . . . . XXXIV
Fábrica Portugal . . . . . II
Facto, Lda. . . . . XXII
Fanafel . . . . . XXXIX
Filtrol, Lda. . . . . XXIV

## H

Harker Sumner & C.ª, Ltd. . . . . XLIX
Henriques & Castro, Ltd.ª . . . . . XII

## J

Jayme da Costa, Lda . . . . . XXV

Pág.

## K

Kellogg International Corporation XL
Krupp . . . . . XLIII

## L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª . . . . . XV

## M

MAN . . . . . XXVI
Máquinas de Precisão, Ltd.ª . . . . . XLVII
Martin Leslie & C.ª Lda. . . . . XXIV
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . . . VIII

## O

Ocidente — Importador e Exportador, Lda. . . . . XXXVIII

## P

Papelaria Fernandes . . . . XXIII e 2.ª da capa
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª . . . . . III

## R

REBEL . . . . . XXXVI

## S

Soabal, Ltd. . . . . IX
S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XVII
Shell . . . . . XXVII
Siemens . . . . . XXXIII
SMEIA . . . . . IV
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª . . . . . I
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Sociedade Fabril de Matérias Plásticas . . . . . XX
Sociedade Industrial Metalúrgica . XLV
Sociedade Michaelis de Vasconcellos . . . . . XVI
Sociedade Portuguesa Cavan . . . . IX
Socotel . . . . . V
Somec . . . . . LXI
Sonap . . . . . XLII
Sondagens Ródio, Ltd.ª . . . . . IX
Standard Eléctrica . . . . . X

## U

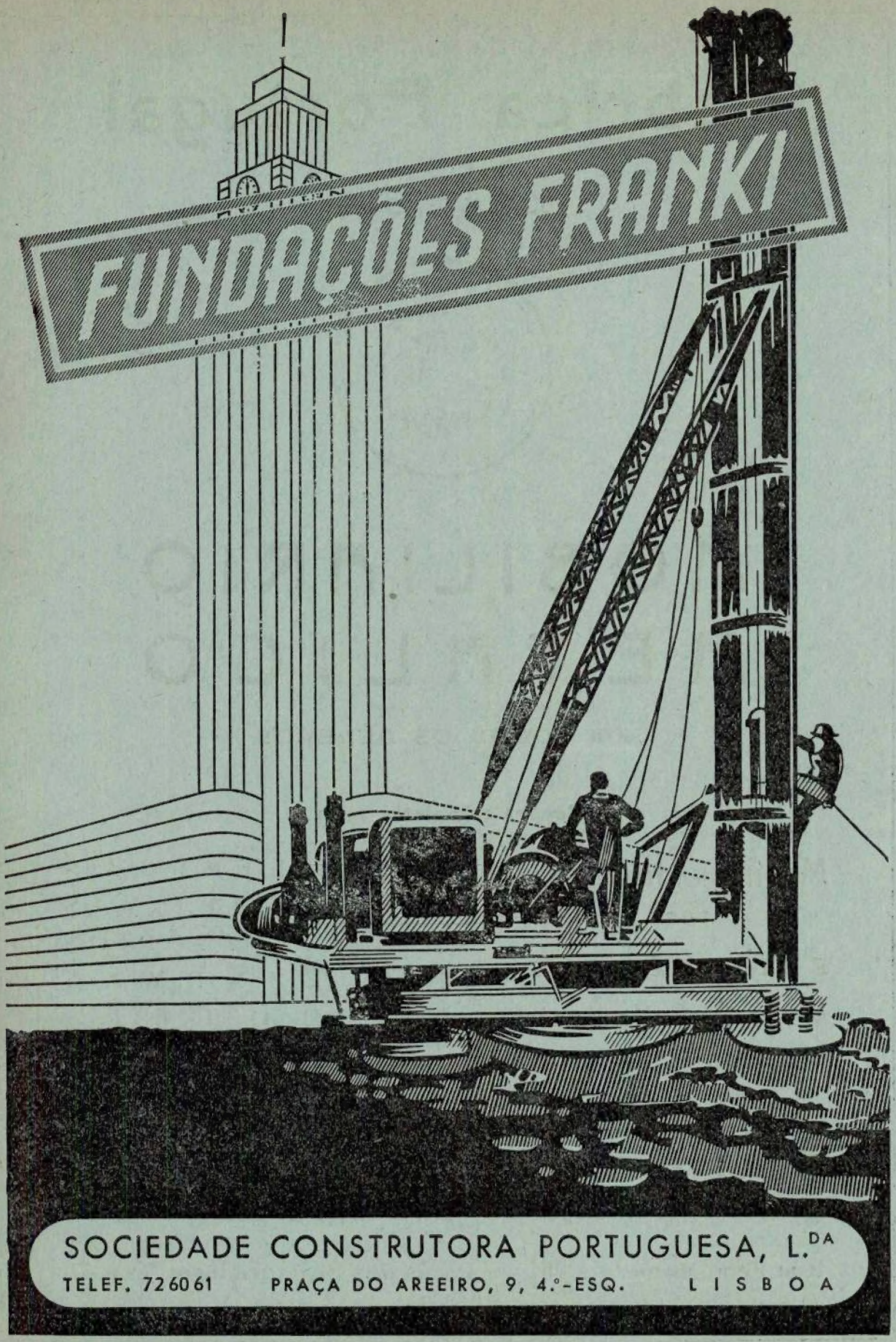
União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa

## V

Vitrofib . . . . . XXXIV

## W

Wild Portugal, Lda. . . . . XXI


FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 726061
PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ.
LISBOA

# Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

# MOBILIÁRIO METÁLICO

**EM TODOS OS GÉNEROS**

**Instalações completas para :**

Mobiliário moderno
para

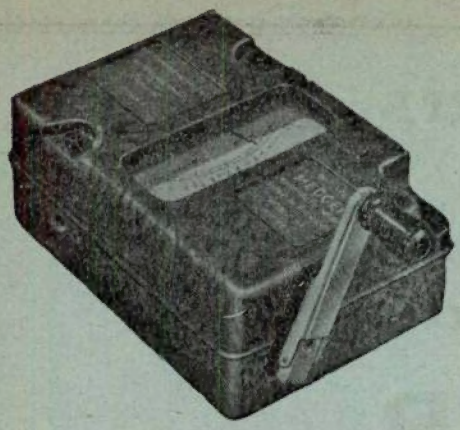
ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

CLINICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

---

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57



# PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

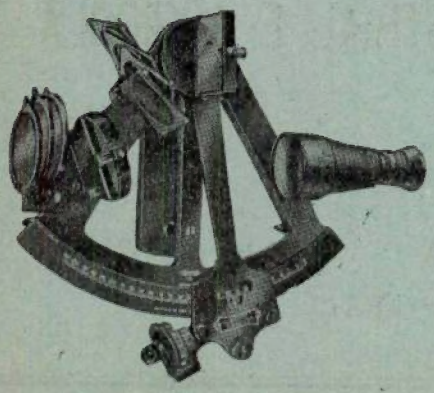
GRANDE SORTIDO
DE INSTRUMENTOS DE
PRECISÃO, CIENTÍFICOS
E INDUSTRIAIS

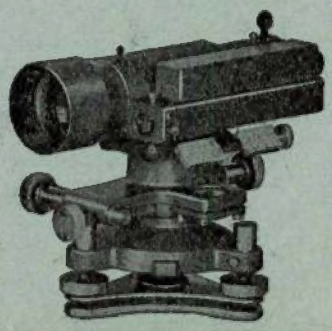
PARA

- ENGENHEIROS
- ARQUITECTOS
- CONSTRUTORES
- TOPÓGRAFOS
- DESENHADORES
- LABORATÓRIOS
- ESCOLAS
- OFICINAS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 24314

TELEG.: TECNA



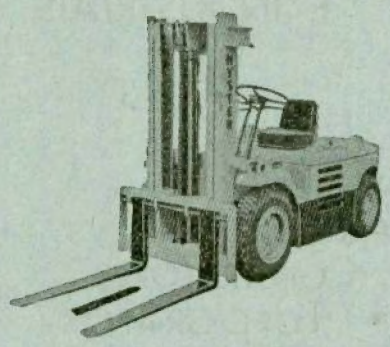


# EMPILHADORES DE GARFO

com motor DIESEL

# HYSTER

PARA CARGAS DE **450** A **9.000** Kg.



Peça informações e uma demonstração ao agente exclusivo

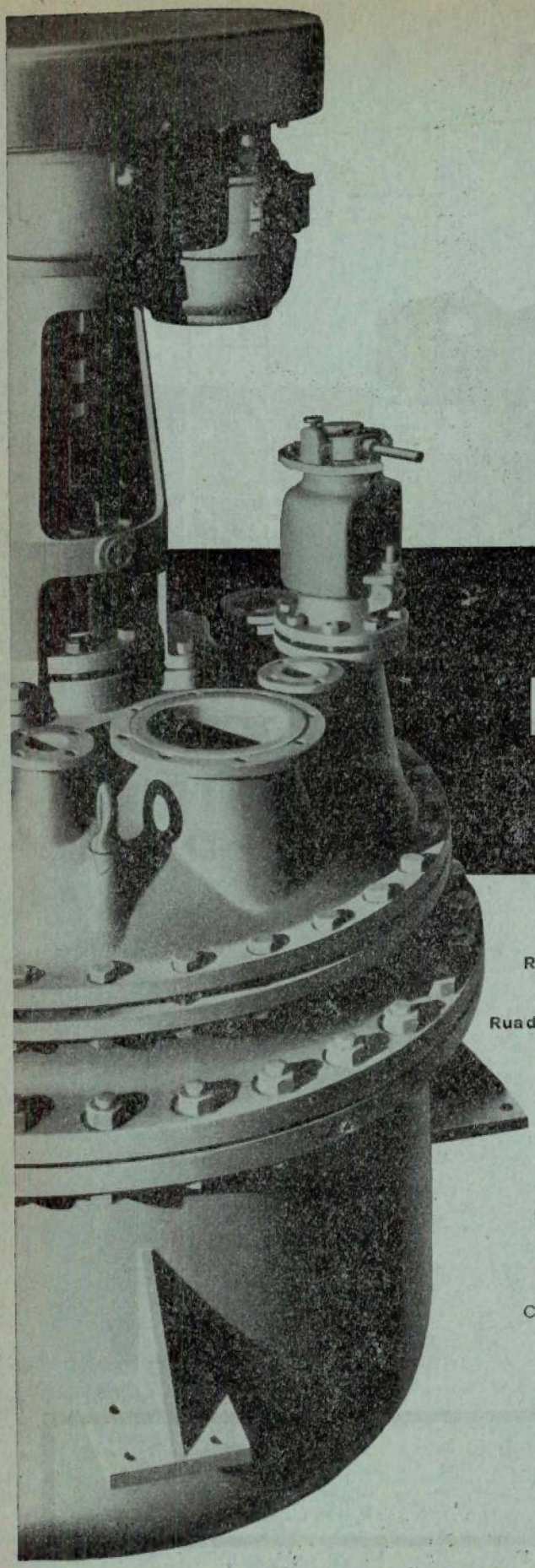
SMEIA

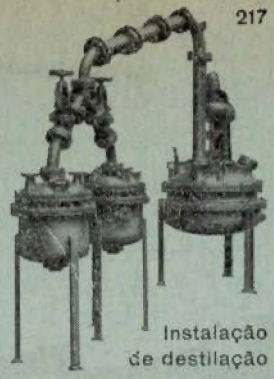
## SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSTRIAL E AGRÍCOLA

S. A. R. L.

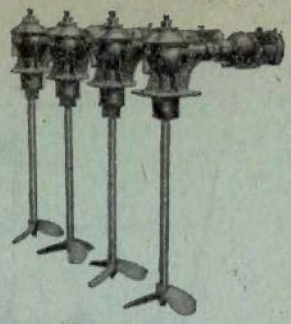
**Avenida P. Manuel da Nóbrega, 8-B ✦ Telef. 72 40 53-4-5 ✦ LISBOA**

**AGENTES EM:** ALCÁCER DO SAL — BEJA — ELVAS — FARO
LEIRIA — SANTARÉM E PORTO.



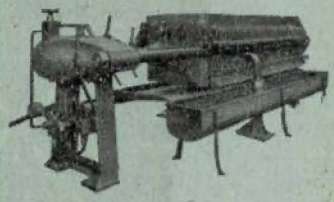


Instalação de destilação



Comandos de agitadores

Estufa de vazio



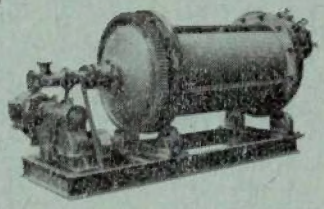
Filtro-prensa de chassis

# De Roll

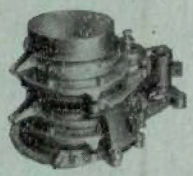
**Máquinas para as indústrias de produtos químicos, alimentares e cerâmicos**

**Representantes em Portugal:**
**Socotel, Lda.**
**Rua de Sá da Bandeira, 651-4°.Esq.**
**Porto - Telef. 27013**

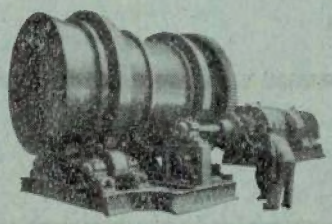
Bomba de diafragma



Cilindro misturador esmaltado



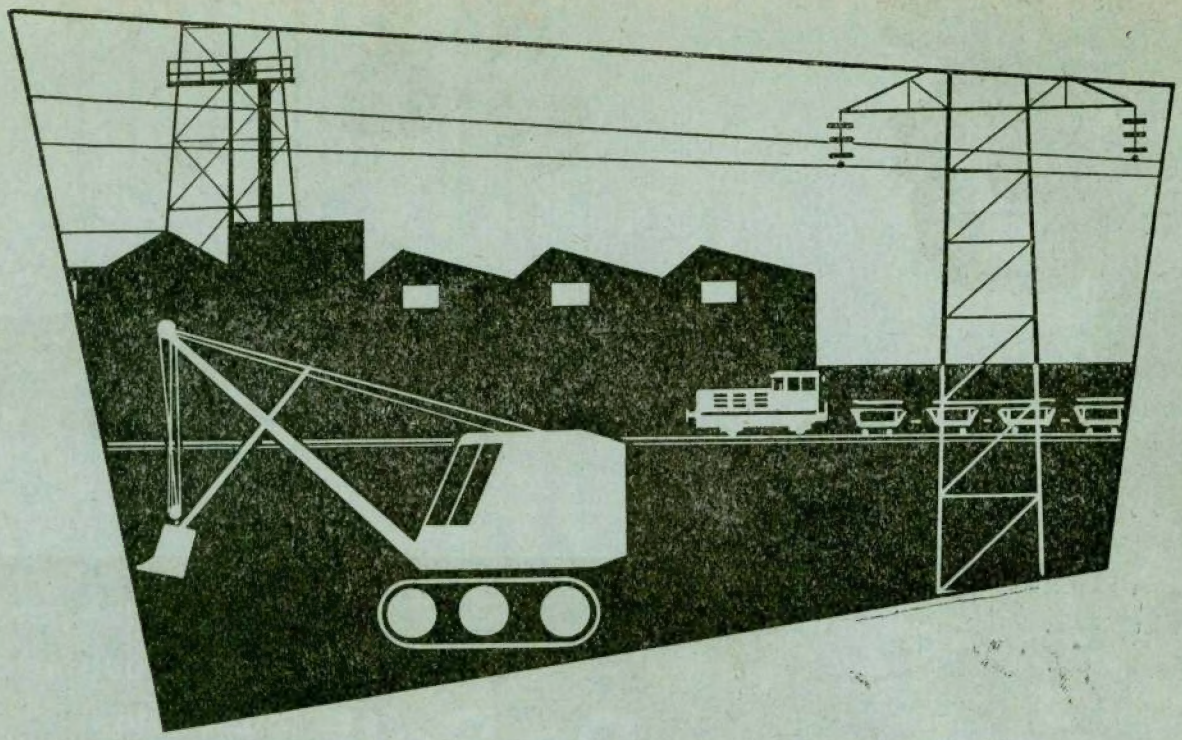
Crivo vibratório duplo com 400 mm de ∅



Cilindro misturador

Válvula de diafragma em borracha

**Société des Usines de Louis de Roll S.A. Fábricas de Klus, Klus (Suiça)**



# MERCEDES-BENZ

## MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

**EM ARMAZÉM:**

| | |
|---|---|
| MODELO M B 841 B ..... | 25 H. P. — 1.000 R. P. M. |
| MODELO M 202 B ..... | 55 H. P. — 1.200 R. P. M. |
| MODELO M 203 B ..... | 90 H. P. — 1.200 R. P. M. |
| MODELO M 204 B ..... | 120 H. P. — 1.200 R. P. M. |

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES C. SANTOS LDA. — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

# Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS

*

TECTOS

*

PAREDES

*

CÂMARAS FRIGORÍFICAS

*

ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

**Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa**

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

---

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

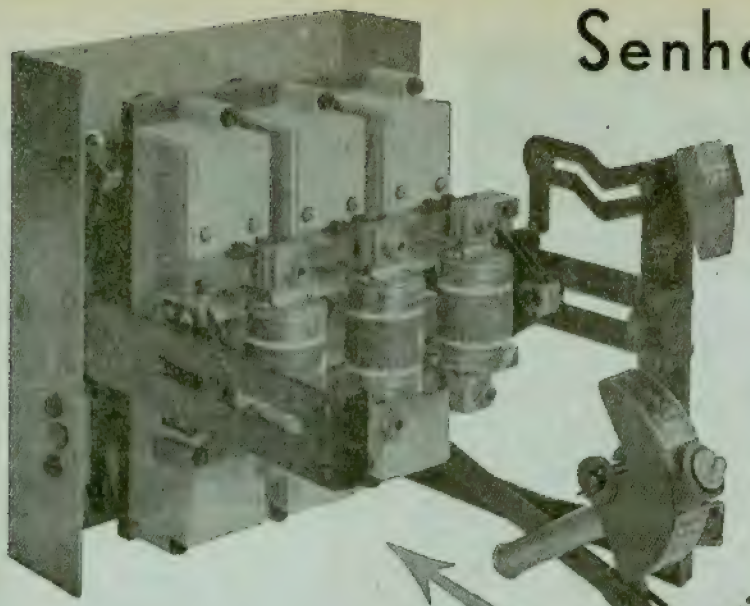
IMPERMEABILISADOR

**IMEPA**

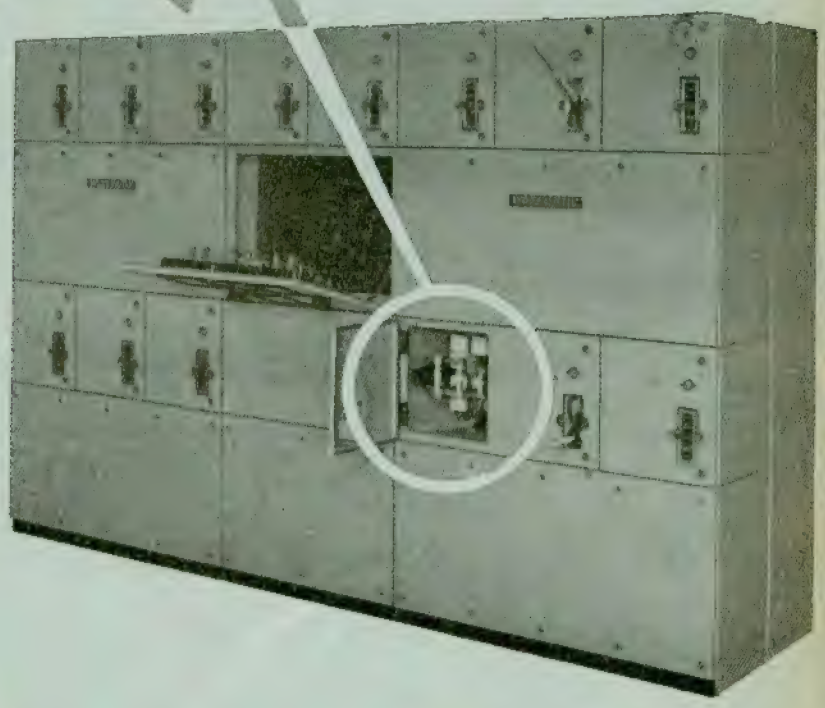
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º - LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

# Senhor instalador...



aceite o nosso conselho de especialistas em aparelhagem de protecção e utilize fusíveis de alto poder de corte nos circuitos de distribuição que instalar,



**mas...**

salvaguarde a reputação da sua firma adquirindo fusíveis de qualidade

# 'ENGLISH ELECTRIC'

THE ENGLISH ELECTRIC COMPANY LIMITED, QUEENS HOUSE, KINGSWAY, LONDON, W. C. 2.

AGENTES EXCLUSIVOS PARA PORTUGAL E ANGOLA:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

TECHNIQUES

# Delle

TECHNIQUES MODERNES

A. G. M. E. L.
AGÊNCIA GERAL
DE MATERIAL ELÉCTRICO, LDA.

## protection des réseaux moyenne tension à exploitation automatique

4 60

# CONTINUITÉ DU SERVICE...

## ... sur les réseaux moyenne tension

M.T.

D1

Continuité du service assurée par utilisation de la technique du compte-passages.

D2

Le disjoncteur de tête de feeder (D 2) est assujetti à une protection par

**un boîtier B 211 A** comprenant :

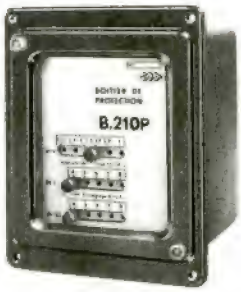
— 2 relais instantanés à maximum de courant, pour protection de phase ;

— 1 relais instantané à maximum de courant, à très faible consommation (0,05 VA), pour protection de terre ;

— 1 relais temporisé réglable.

**associé à un relais RRL** permettant un réenclenchement rapide puis un réenclenchement lent.

D3




Les disjoncteurs de coupure (D 3 et D 4) sont assujettis à une protection par

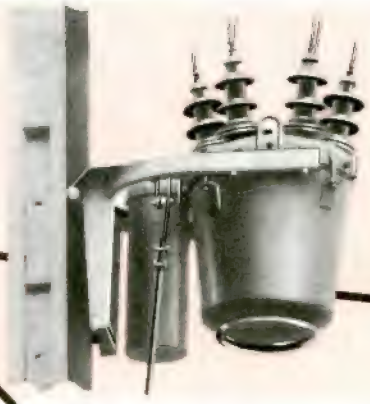
**un boîtier B 210 P** comprenant :

— les mêmes éléments que le boîtier B 211 A, sauf le relais temporisé, et en plus

— un compte-passages qui n'autorise le déclenchement du disjoncteur que si le courant de défaut a parcouru ce dernier un nombre de fois prédéterminé

pour le disjoncteur D 3 : 3 passages
pour le disjoncteur D 4 : 2 passages

D4



En bout d'antennes et sur les antennes de faible puissance, les disjoncteurs D 3 ou D 4 peuvent être des **blocs ruraux** sur poteau qui sont constitués par un disjoncteur (pouvoir de coupure 63 MVA) associé à un ensemble de protection comprenant :

— **un boîtier C 210** contenant 2 relais de court-circuit et 1 relais de terre à très faible consommation (0,05 VA) ;

— **un boîtier à compte-passages CP** (2 ou 3 passages) ;

— un boîtier d'alimentation 12 V.

B.T.

B.T.

Ateliers de Constructions Électriques de

**Delle**

DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICIT

DIRECTION GÉNÉRALE ET DÉPARTEMENT
**HAUTE TENSION**
25, CHEMIN DE CYPRIAN - VILLEURBANNE (RHONE)

DÉPARTEMENT
**EQUIPEMENTS**
CHALON-SUR-SAONE (S.-ET-L.)

DÉPARTEMENT
**BASSE TENSION**
SAINT-QUENTIN (AISNE)

# CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A

TELEF. 47812-50129

LISBOA

# TOR

AÇOS DE ALTA RESISTENCIA PARA BETÃO ARMADO

SOABAL, L.da R. Joaquim Bonifácio, 2-1.º LISBOA • Telef. 4 8980

FC

# SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

RÓDIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**

# Standard Electrica S.A.R.L.

*Associada da*

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

**TELECOMUNICAÇÕES**

**ELECTRÓNICA**

AV. DA INDIA — LISBOA

# SOMEC

**Sociedade Metropolitana e Colonial de Construções, L.da**

R. Andrade Corvo, 29, 1.º — Lisboa Telefone 59169/70

Sondagens

Fundações

Betão armado

Trabalhos marítimos

Túneis

**no Continente e Ultramar**

# EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

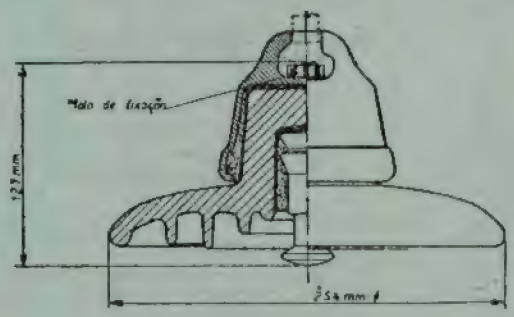
## Candal — Gaia

**ISOLADORES DE CADEIA**

**Para suspensão**

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos




**Peso aproximado:**
**4,3 kg cada elemento**

**Materiais**

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

**Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA**

# O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

**permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos**

**Estude a vantagem do emprego do**

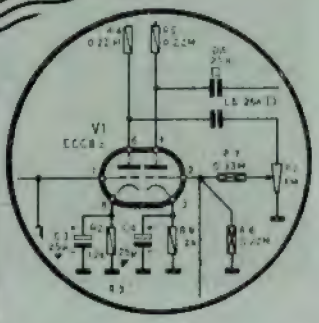
## CIMENTO BRANCO LUSO

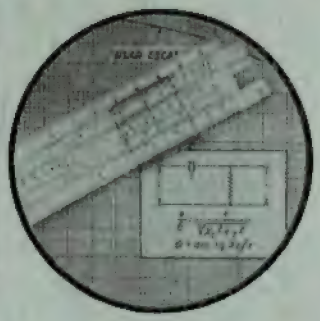
**Consulte os distribuidores gerais**

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

# EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM

# BEM CONCEBIDO BEM CALCULADO CONSTRUIDO





## LESA

A grande marca italiana

**Representantes em Portugal**

TELECTRA

## EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S. A. R. L.

**Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c**
**LISBOA — Tel. 68 60 72**

**Rua dos Clérigos, 64**
**Tel. 2 48 18 — PORTO**

# COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CALCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

E EM MONTAGEM

GRAFITE

FABRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 67222

SEDE
Largo de S. Carlos, 4-2.º — LISBOA
Telefones 25343-29608-368989

# LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

## SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

**REPRESENTANTES DE:**

**THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.**

Material de fixação para construção civil e mecânica.

**HOOVER, LTD.**

Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

**J. A. CRABTREE & CO. LTD.**

Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.

Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

**THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.**

Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.

Máquinas para bobinar e enfitar.

**GEORGE KENT**

Contadores de água, de vapor e de óleo.

Tubos Venturi

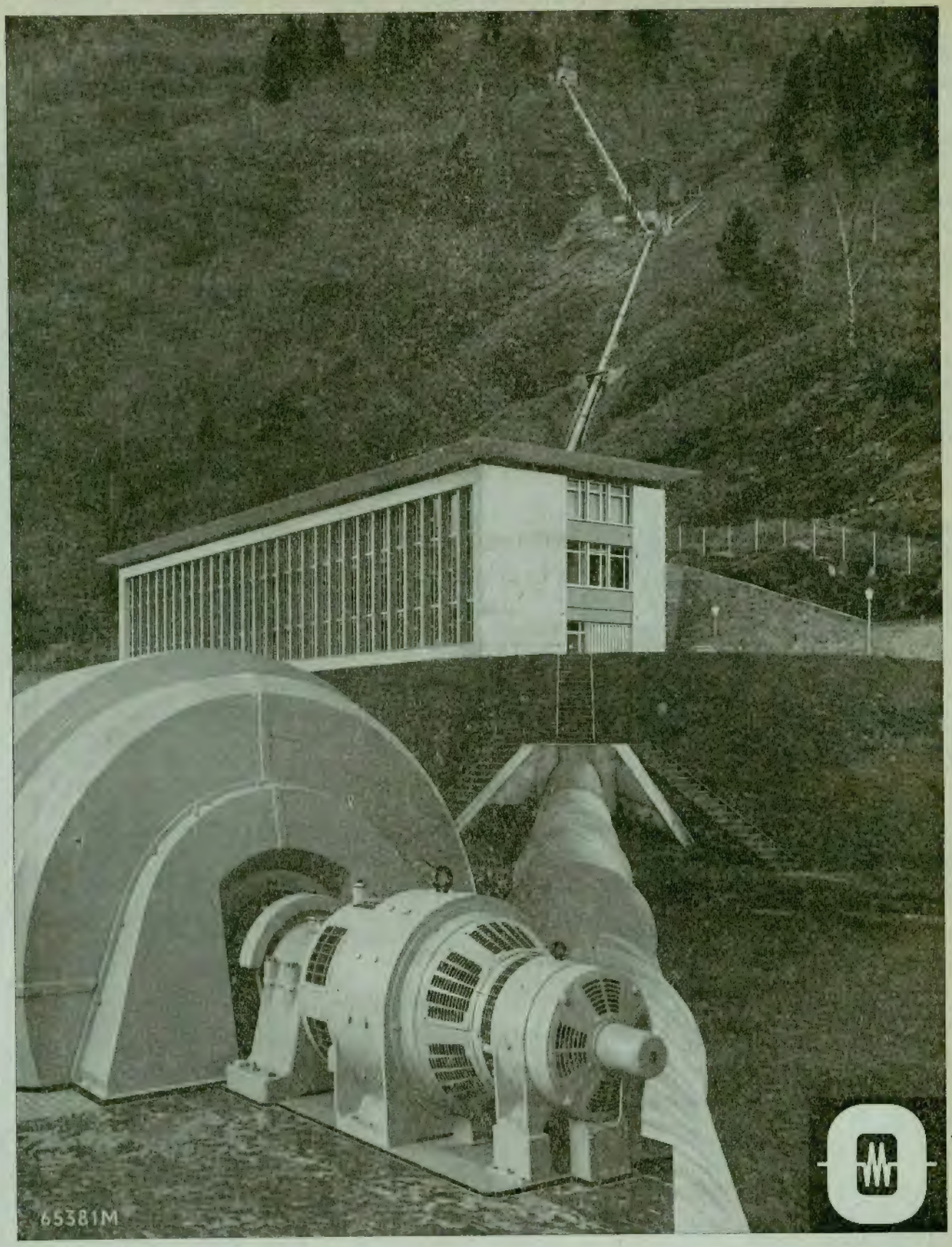
Determinadores e controladores do pH, do $CO_2$ e pirómetros pelo processo potenciométrico.

Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

**THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.**

Luz fluorescente.

# Ateliers de Construction Oerlikon • Zurich 50




Para a Central de Lostallo/Mesolcina, a OERLIKON forneceu o equipamento eléctrico completo, que compreende 2 alternadores de 13.750 kVA cada um, os transformadores, a subestação exterior e os quadros de comando

Representante para Portugal e Ultramar: Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda.
PORTO — Pr. da Liberdade, 114 LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

TÉCNICA

DIRECTOR: ALEXANDRE CERVEIRA
ADMINISTRADOR: JORGE GONÇALVES CALADO
SECRETÁRIO: HENRIQUE TELLES ANTUNES

Ano XXXIV - N.º 301 Abril de 1960

# AO NÍVEL DA ASSOCIAÇÃO DOS SETE

POR ARTUR CARDOSO PEREIRA
Engenheiro Químico

Que a presente conjuntura de desenvolvimento económico do país *trouxe* a necessidade de *ver claro* nos problemas decorrentes, tornou-se convicção ràpidamente generalizada; que essa conjuntura *traz* consigo a própria possibilidade de *ver claro*, é já conceito menos acessível ou mais fugaz. À primeira vista, parece subtil e de menor interesse prático a diferença entre aquela *necessidade* e esta *possibilidade* (1). Contudo, para o êxito das actuações concretas, considerar essa diferença afigura-se-me de importância fundamental. Tanto mais o será, por certo, no âmbito da preparação dos novos engenheiros, cuja responsabilidade ficará ligada à nossa economia de amanhã.

Não sofre dúvida que o simples reconhecimento da necessidade de *ver claro*, por si só, não assegura resultados. Com efeito, não se trata duma questão de mera inteligência, mas duma complexa e árdua tarefa sujeita a condicionalismos da mais diversa natureza. Desde logo e a par e passo, nos encontramos dependentes da chamada *possibilidade circunstancial*. Só à sua parte, a situação seria assim já bastante difícil. Mas na *operação* comparticipam ainda todos os recursos integrados no conhecimento adquirido e todas as forças poderosas do «não-conhecimento». D'aí resultam aquelas *surpresas tacticas e estratégicas* a que, maliciosamente, aqui se referiu há tempos um Professor deste Instituto.

Em nenhum sector talvez, como no da investigação científica, se revela a relatividade com que apreciamos os factos ou analisamos as ideias, e se adquire esse imponderável sentimento da *dependência circunstancial* e, portanto, da dificuldade efectiva em *ver claro*. Começa ali nas experiências de laboratório que não correm segundo a espectativa aparentemente lógica, e surge a *necessidade* de interpretar situações confusas, em que jogam às escondidas o erro instrumental, o erro do observador e o próprio erro da concepção, ou experimental ou teórica.

Penso, por isso, que *ver claro* numa questão constitui exemplo típico da capacidade criadora — isto é, conhecimento facultado pelo «não-conhecimento», «não-conhecimento» adquirido pelo conhecimento. Foi certamente por essa razão, que R. G. H. Siu pôde escrever: «creation in research is the fluorescence of non-knowledge». Mas não é apenas na investigação. Penso que o é também em todas e nas mais humildes manifestações do poder criador. «Não-conhecimento»! Que belo e lúcido conceito da eterna sabedoria oriental!

De forma semelhante, em situações de ordem técnica ou económica, seja no âmbito da concepção, seja no das realizações, é indispensável *ver claro*. Ora para *ver claro* é necessário, primeiro que tudo, não esperar demasiado da Inteligência e compreender a natureza subtil do papel desempenhado por aquela multifacetada *possibilidade circunstancial*.

---

(1) Para que possamos compreender-nos, é necessário esclarecer, desde já, que a palavra *possibilidade* é empregada sem qualquer antecipada sujeição a pontos de vista de pessimismo ou de optimismo, de negação ou de afirmação.

Já Confúcio o sabia muito bem. E, certamente, não se afigurará *inteligente* que, volvidos tantos séculos, ainda se possa perseverar no erro de atribuir excessiva importância às virtuosidades exclusivistas da Inteligência.

Mas, por outro lado, não deve julgar-se que a *possibilidade circunstancial* deriva de qualquer situação estática de previlégio e de posse; ela resulta duma posição de permanente conquista, da deligência que se empreende, da busca dinâmica que se efectua — quer dizer, resulta do acesso pessoal e directo à matéria de facto, ou por outras palavras, do caso concreto trazido ao plano do conhecimento e do discernimento. São aqui os factos brutos, ali as ideias, aqui, por sua vez, os estímulos, ali, também, as reacções de resposta — em qualquer dos casos, pela via e na base de *informações de confiança.* Dessa forma, é assegurada estrutura viva ao «não-conhecimento» criador — que muito embora seja um processo de sensibilidade e de intuição, não o é menos de geométrica projecção e perspectiva do conhecimento material.

*Informações de confiança,* escrevemos acima. Eis na verdade, uma questão de importância fundamental e também a dificuldade máxima com que todos nós deparamos em qualquer escalão de empreendimento. Por isso, essa mesma dificuldade é encontrada na função directiva, nomeadamente nos países em que a educação e a cultura estão mal estruturadas e os quadros da superestrutura e da infraestrutura ou se desconhecem ou se desharmonizam, e recìprocamente se comprometem. De resto, não poucas vezes na própria bibliografia científica é difícil distinguir o verdadeiro do falso. E nas guerras, na política e na economia, todos sabemos quantas derrotas, fracassos e desenganos foram provocados por graves deficiências dos serviços de informação.

Em todos os domínios, a nossa época é caraterizada pelo reconhecimento da importância dos esquemas de documentação técnica e científica. Depois de crises várias de crescimento e gigantismo, assistimos à sua consolidação. Entre nós estão à vista uns três ou quatro exemplos concretos de incontestável fulgor. Porém, são exemplos minoritários, quando é certo que a própria prosperidade victoriana — que era minoritária — já está ultrapassada, como apaixonadamente acentua Fulton Sheen. Na verdade, a chamada «civilização ocidental» passou a depender da *qualidade maioritaria.* Nela está incluída a *qualidade da documentação e da informação.* Parece-me lícito afirmar que, também no nosso caso português, o resto virá naturalmente por acréscimo. Mas o ponto de partida, nunca será demais repeti-lo, é a *preparação* alicerçada em sólida, actualizada e *viva* informação de confiança.

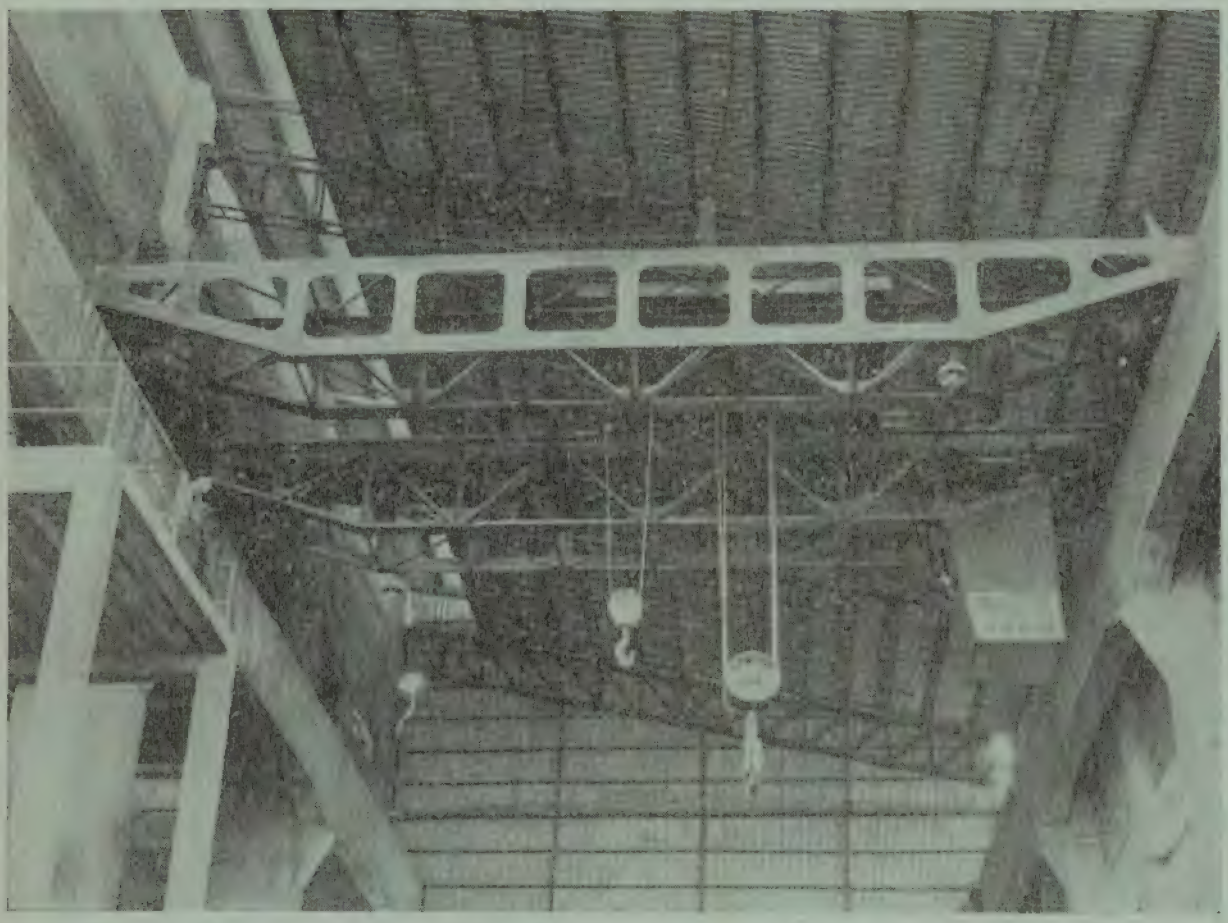
Sendo assim, aos novos engenheiros, aos obreiros e acessores da economia e da cultura do futuro, eu quereria poder pô-los em guarda contra as contingências, as vicissitudes, as frustrações — numa palavra, contra as naturais *limitações* da Inteligência. Eu vos asseguro: a Inteligência, só à sua parte, não é linguagem válida nem moeda corrente na Associação dos Sete. Além do mais, porque à Inteligência se aplica também aquela maravilhosa lei da acção das massas. . . . Cuidado, portanto. Desconfiai de toda e qualquer apressada concepção de Inteligência! Penso que me compreendereis perfeitamente. Na verdade, há circunstâncias que tornam possível meditar e compreender alguma coisa do muito que se passa com a Inteligência e com a Não-Inteligência.

Tudo o que é necessário para a vossa *preparação* já nestas colunas tem sido dito, por diversas ocasiões e duma forma que para sempre notabilizou a vossa revista de engenharia. Pela minha parte, apenas quereria ter o gosto de dar uma modesta contribuição, na actual conjuntura do nosso desenvolvimento e progresso. Sobre a já ultrapassada barreira do mar e de Castela, a entrada para a Associação dos Sete oferece-nos a maior oportunidade que jamais nos foi dada para resolutamente tomar contacto com a **realidade económica: coordenação de valores e de tonalidades, direcção e estilo, ritmo, disciplina e unidade.** Mais do que nunca, temos a *possibilidade circunstancial* de *ver claro,* no âmbito da nossa sobrevivência científica, cultural e económica.

Assim, Maurice Barrès ter-vos-ia dito: da vossa palavra, do vosso coração e da vossa alma, a Nação espera nova afirmação criadora da *Inteligência portuguesa.*

# MAGUE

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE, L.DA
(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)
Alverca — Portugal



Ponte rolante eléctrica de 40 t – 10 t, 13,8 m de vão em serviço
na Siderurgia das Minas de Vila Cova, S. A. R. L.

•

PROJECTO E FABRICO DE
PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS, DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS

# COMPORTAS
# TURBINAS
# CONDUTAS FORÇADAS
# BLINDAGENS

**DIVISÃO METALO-MECÂNICA**

**COMPANHIA UNIÃO FABRIL**

AVENIDA 24 DE JULHO, 170 — LISBOA

comporta da barragem do Maranhão construída pela companhia união fabril

C. D. U. 666.982

# Algumas considerações sobre a aplicação dos aços de alta resistência no moderno betão armado

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) LUÍS AROUCA

## 1. INTRODUÇÃO

A experiência americana, de há muito (1) que provou a possibilidade de usar varões deformados no betão armado, demonstrando as suas vantagens sobretudo no que se refere à dispensa de ganchos de extremidade, a ter-se assegurada uma melhor aderência aço-betão, e a reduzir-se a largura de fendas. Beneficiando da experiência americana no assunto os países europeus lançaram-se no mesmo rumo, mas orientando os seus esforços no sentido da utilização de aços de alta resistência que permitindo maiores tensões admissíveis tornariam mais económico o dimensionamento.

Na Europa, o primeiro aço de aderência melhorada, aço Isteg, apareceu entre 1920 e 1930, na Áustria. Posteriormente, ainda na Áustria, surgiu o aço Tor. Porém, o uso de aços de alta resistência para armaduras de betão armado começou a sua actual fase de expansão no começo de 1940, sobretudo na Austria e na Suécia, e a sua tendência de substituir o aço macio na construção tem vindo a acentuar-se deliberadamente. De acordo com estatísticas particulares, mas de fonte digna de crédito (2), em 1958, na Suécia, 70 % do aço usado na construção foi aço de alta resistência enquanto que em 1959, na Austria, esse número atingiu o valor recorde de 90 %. A linha de rumo desde início tem sido obter progressivamente aços de melhor qualidade e mais altas tensões admíssiveis. Curioso porém que enquanto os suecos se orientaram essencialmente para uma melhor qualidade dos aços a partir de tratamentos siderúrgicos especiais, sobretudo aumentando a % de carbono e empregando melhores ligas, os austríacos preferiram manter a qualidade da sua matéria-prima laminada, aumentando o limite de elasticidade, embora reduzindo a elongação dos aços, por um processo de trabalho a frio após a laminagem, normalmente por processos de torsão, estiragem, ou ainda por trefilagem.

Dado que um dos maiores interesses e vantagens da aplicação dos aços de alta resistência no betão armado resulta da economia de secções necessárias para absorver os mesmos esforços solicitantes (1), consequência directa das suas altas tensões de segurança admissíveis, resulta que a obtenção dessas altas tensões tem sido a principal conquista dos modernos tipos de aço usados em betão armado.

O aumento de tensões admissíveis para os

(1) Na realidade, data do fim do século passado o aparecimento nos E. U. de vários varões de aderência melhorada, ditos «barras deformadas», como os aços Cup, Johnson, Lug, Diamond-Mueser, Tachter, etc. E os seus primeiros ensaios sistemáticos e comparativos (Prof. Talbot) datam de 1904.

(2) E. V. G. — Entwicklungs und Verwertungs Gesellschaft — Graz — Austria.

M + S — Maschinen und Stahl, Zollikon, Zurich — Suíça.

SOLONOR — Société Lorraine et Normand des Vents des Produits Méttalurgiques, Paris — França.

(1) Além da menor secção de armadura necessária para a absorção do mesmo esforço solicitante, a dispensa de ganchos de amarração que muitos dos aços de alta resistência justificam pelas suas boas condições de aderência deve ser tomada em conta na economia de peso de aço que se obtém. E a consequente economia de transporte além duma relativa economia de mão de obra devido à menor quantidade de aço a pôr em obra, também não pode ser esquecida.

O facto de algunsa ços de alta resistência permitirem mesmo a não existência de levantamentos, ou a amarração dos varões poder ser feita na própria zona de betão traccionada (caso do aço-Bi por exemplo), é mais uma economia a considerar. Ainda a pré-fabricação de armaduras, para que alguns dos aços de alta resistência tendem abertamente, como é o caso das armaduras electrosoldadas em elementos de estruturas bidimensionais, também se traduz por uma muito considerável economia de mãode obra na sua montagem e aplicação, (por exemplo em lajes, cèrcade 25 % do custo normal de aplicação de outrostipos de aço).

novos tipos de aço, dos 2.400 kg/cm² dos aços do tipo A 40, como é o caso do Heliaço e do Tor 40, aos 3.000 kg/cm² das armaduras electrosoldadas, como a Malhasol, até aos 4.000 kg/cm² do aço-Bi já aprovado pelo L. N. E. C., e que brevemente começará a ser produzido entre nós, só para nos referirmos aos aços de alta resistência actualmente produzidos ou em vias de o serem pela nossa indústria (vide fig. 1), causa compreensível estranheza à maioria dos nossos projectistas e construtores, de longa data habituados a associar a tensão admissível do aço macio no betão armado ao valor 1.200 — — 1.400 kg/cm², e que nas estruturas em que a estanqueidade era um factor condicionante, era prudentemente reduzida para 800 — 1.000 kg/cm².

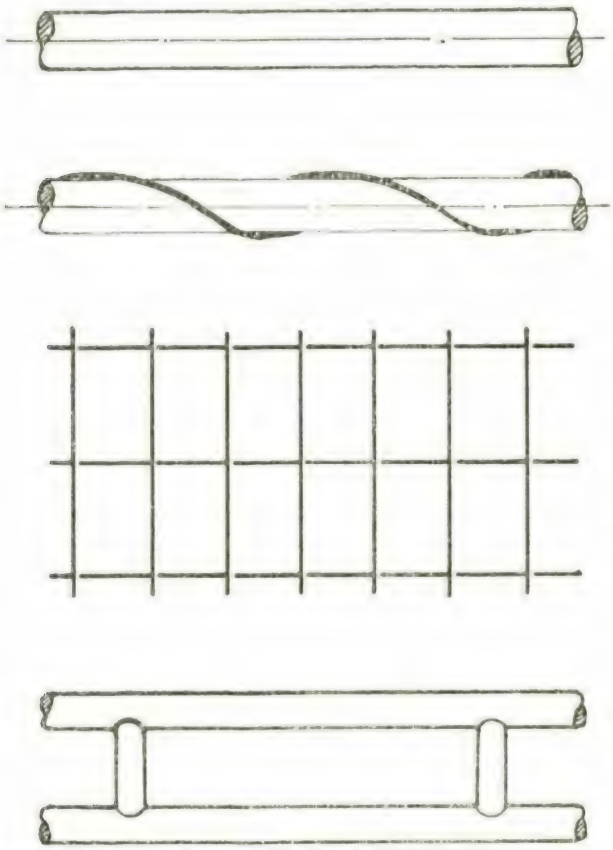
Nas linhas que se seguem procura analisar-se sumàriamente os princípios que presidem ao dimensionamento duma estrutura em betão armado, princípios nos quais se integram os problemas que a utilização desses aços põe, permitindo porém a segura adoptação dos elevados valores de tensões admissíveis em causa.

## 2. O DIMENSIONAMENTO DUMA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

Uma dada estrutura em betão armado tem fundamentalmente que satisfazer a três pontos, que caracterizam os três tipos de ruína normalmente considerados:

1 — Adequado grau de segurança em relação à rotura — ruína por rotura.
2 — Limitado desenvolvimento e formação de fendas — ruína por fendilhação.
3 — Limitada deformação, ou seja suficiente rigidez — ruína por deformação.

O Comité Europeu de Betão é bastante categórico nesta diferenciação quando recomenda que o cálculo simplificado da capacidade de carga duma estrutura deve ser feito independentemente



*Heliaço:* Varão de aço macio normal de laminagem, posteriormente torcido.

*Aço Tor 40:* Varão de aço macio normal com canelura de laminagem, posteriormente torcido.

*Malhasol:* Varões de aço especial de laminagem, posteriormente trefilados e soldados por um adequado processo de soldadura eléctrica, de contrôle eléctrónico, a outros varões perpendiculares.

*Aço Bi:* Varões de aço especial de laminagem, posteriormente trefilados e ligados entre si através de barretas de aço macio normal a que são soldados por um adequado processo de soldadura elèctrica, de contrôle electrónico.

Fig. 1 — Os tipos de aço de alta resistência produzidos actualmente, ou em vias de o serem, no nosso País

dos cálculos de verificação da fendilhação e da deformação, que dependerão da finalidade da estrutura e devem ser conduzidos separadamente.

Mas analisemos esquemàticamente os três citados tipos de ruína:

### 2.1. *A ruína por rotura*

Para garantir segurança em relação à rotura o dimensionamento das secções de betão armado pode ser feito pelo dito método clássico, ou pelos modernos métodos de cálculos em relação à rotura. No método clássico as tensões de segurança geralmente admitidas para os aços tomam valores de cerca de 60 % da tensão de cedência, ou da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2 %. Mas se no caso do aço macio tal consideração fixava a tensão de segurança em 1.400 kg/cm² (sendo mesmo o valor de 1.200 kg/cm² correntemente usado por maior segurança) tensão que geralmente não levantava problemas de fendilhação ou deformação, com tensões de segurança variando dos 2.400 kg/cm², dos aços de alta resistência, tipo A 40, como o Tor 40. Tentor, Kam 40 e outros, até aos 4.000 kg/cm² do aço-Bi por exemplo, a segurança no aspecto de fendilhação e também de deformação, toma já uma importância fundamental mesmo no caso normal da construção de edifícios.

A ruína duma estrutura por rotura pode assumir vários aspectos.

Tem sido provado por muitos ensaios, e tem sido claramente afirmado em várias comunicações (1), que em vigas fracamente armadas o valor da tensão dos aços pode ser plenamente utilizado em vigas de betão armado trabalhando à flexão, mesmo que a tensão limite de elasticidade seja da ordem dos 17.000 a 21.000 kg/cm² (dificilmente se conceberão tensões limites de elasticidade desta ordem para aços de alta resistência aplicáveis em betão armado), desde que a aderência seja suficiente para impedir o escorregamento e sejam tomadas precauções contra a rotura em tracção oblíqua.

(1) Vide por exemplo, Disc. 75-55 (Discussão dum artigo de G. Wästlund «Uso de A. A. R. em Betão Armado»), em Proceedings V. 55, A. C. I., Dez 1959, ou o Relatório Geral e as Comunicações do 1.º Tema do Simpósio sobre Armaduras especiais de betão armado e armaduras de pré-esforço. RILEM — Liège 58.

Contudo há determinados problemas que passam a revestir-se duma acuidade maior e não poderão deixar de ser considerados. Especialmente se no dimensionamento se enveredar deliberadamente pelo método de cálculo à rotura, como é tendência actual, método mais evoluído, permitindo um mais racional dimensionamento, mas delicado nos parâmetros e factores que determinam a carga de rotura nos diversos casos de solicitação da estrutura para vários tipos de aço e qualidades de betão. (Sobretudo em determinadas condições, como por exemplo quando a rotura do betão por compressão é decisiva, como nas peças fortemente armadas).

Assim, o problema de rotura por corte passa a ter que ser extremamente ponderado, pois a falta de ganchos de amarração da maioria dos aços de alta resistência pode conduzir a súbitas ruínas por se exceder sùbitamente a tensão de tracção no betão, se não houver estribos convenientemente dispostos para a assegurar, como o mostram as experiências de Hajnol- Konyi, Granholm e outros.

Muitos outros problemas, como o escorregamento e quebra de ancoragem, o lascar longitudinal do betão devido às caneluras dos varões, e ainda o lascar local do betão nas dobragens e curvaturas dos varões devido às altas tensões aí localizadas, também não podem ser esquecidos, e revestem-se de especial cuidado quando se aplicam os aços de alta resistência. Contudo, num bem elaborado projecto, e desde que a construção seja cuidada, nenhum destes problemas é óbice de vulto na aplicação dos aços de alta resistência no betão armado.

### 2.2. *A ruína por fendilhação*

Os problemas respeitantes à formação e desenvolvimento de fendas nas peças de betão armado não eram desconhecidos.

Foi porém, decisivamente, o aumento de tensões de segurança que a generalização do emprego dos aços de alta resistência na construção ocasionou, que deu o impulso para a grande actualidade de que o problema se reveste. Desde os trabalhos de Watstein e Parsons, em 1943, que embora fosse óbvio que o perigo de desenvolvimento de grandes fendas em estruturas de betão armado com aço de alta resistência trabalhando a elevadas tensões de segurança é maior

do que em estruturas cujas armaduras estão submetidas a tensões mais baixas (1), se procurou orientar as investigações sobre a acção no fenómeno da fendilhação dos outros parâmetros essenciais que além da tensão do aço a influenciam. E mostrada essa especial acção, sobre o modo de actuação nesses factores que permitissem exercer uma vantajosa influência na formação de fendas adentro duma larga amplitude, que permitisse compensar o desfavorável efeito da alta tensão do aço.

Independentemente de questões estéticas, o problema da fendilhação assume particular interesse no fenómeno da oxidação das armaduras e a sua corrosão. Como em tantos outros problemas, não se conhece claramente o mecanismo do ataque das armaduras. Para alguns autores o fenómeno provém duma oxidação directa, para outros duma acção electroquímica. O condicionalismo de parâmetros vários como por exemplo a qualidade e porosidade do betão, a relação água-cimento, ou a espessura de recobrimento, é pouco conhecido na sua influência relativa no fenómeno da fendilhação. A própria concretização da agressividade do meio não tem sido fácil de precisar.

Parece porém assente que a fendilhação favorece a oxidação e posterior corrosão das armaduras, e assim, em função da utilização e exposição a meios agressivos das estruturas de betão armado, vários autores estabelecem valores para as fendas máximas admissíveis. Brice, Efsen, Rüsh, Wästlund, Haas, e tantos outros (2) sugerem valores, ligeiramente variáveis, mas que concordantes numa ordem de grandeza permitem que para estruturas em condições normais possa ser considerada de 0,2 a 0,3 mm a largura máxima admissível das fendas.

Curioso citar que é esta mesma a ordem de grandeza da fendilhação que se observa nas vigas de betão armado, com percentagem normal de armaduras em aço macio, quando do início das deformações não elásticas.

Resulta assim que no betão armado «clássico» a segurança de ruína à rotura e à fendilhação pode ser englobada num mesmo aspecto (normalmente a fixação de tensões máximas admissíveis por rotura), enquanto que no betão armado «moderno», em que a aplicação dos aços especiais é largamente predominante, a análise do problema da fendilhação terá que ser feita independentemente do da rotura, pois pode acontecer ser ele mesmo o condicionante das tensões admissíveis para os novos materiais, como normalmente sucede.

O problema da fendilhação é comumente estudado em duas partes:

1 — Determinação de fórmulas empíricas para estimar o espaçamento das fendas.
2 — Determinação da relação entre o espaçamento das fendas e a sua largura.

Em linhas gerais o mecanismo da fendilhação corresponde ao seguinte esquema: — Num ponto dum elemento estrutural de betão armado aparecerá uma fenda se nele se desenvolverem tensões superiores à tensão de rotura por tracção do betão $\sigma_{tb}$, nesse ponto.

Ainda, se numa zona desse elemento estrutural limitada por 2 prévias fendas, se der, por aderência, uma transmissão de força do aço ao betão de forma que a tensão resultante do betão (e que é máxima a meia distância entre as fendas) excede o valor $\sigma_{tb}$, terá lugar uma nova fenda.

Este processo continuará até que se obtém um compromisso entre o número e a distância entre as fendas e a transmissibilidade de esforços aço-betão por aderência, de forma a não se gerarem tensões de tracção no betão iguais a $\sigma_{tb}$. Então, para um aumento de solicitação sobre o elemento estrutural em causa, não surgirão mais fendas, e em função da sua inter-distância, e da diferença de alongamentos aço-betão no troço considerado, dar-se-á um acréscimo de largura nas fendas existentes.

Aparece assim como um factor fundamental no estudo da fendilhação o conhecimento da força de aderência aço-betão.

Normalmente essa força de aderência dependerá das características de rugosidade do aço, variando com o estado da sua superfície e da sua forma geométrica e ainda do envolvimento

---

(1) Segundo a lei de Hook $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$.

(2) Vide, por exemplo, o Relatório Geral e as Comunicações sobre o Tema VII, do Simpósio sobre a Aderência e formação de fendas no betão armado, RILEM — Estocolmo 57.

das armaduras na massa do betão. Analìticamente corresponderá ao integral da função tensão de aderência num troço entre fendas existentes.

$$\tau = A \int_0^l \tau ab\ (x)\ dx$$

em que

A = secção da armadura, suposta constante no troço considerado

$\tau_{ab}$ = função tensão de aderência aço-betão no troço considerado

$\tau$ = força de aderência aço-betão no troço considerado.

Porém, apesar do exaustivo estudo e investigações feitas em todo o mundo (1), não tem sido fácil encontrar experimentalmente tal função, nem mesmo uma nítida confirmação experimental que individualize uma de entre as várias fórmulas semi-empiricas sugeridas para exprimir o espaçamento médio das fendas $a_m$, a partir do qual a sua largura média $w_m$ seria determinável por uma relação que na sua forma mais simples tomaria a forma

$$w_m = a_m \frac{\sigma_a}{E_a}$$

em que

$\sigma_a$ = tensão de tracção na armadura na secção fendida

$E_a$ = módulo de elasticidade do aço.

Como se vê na fig. 2 para alguns investigadores, como Brice, e implìcitamente para Rüsh, tal função pode mesmo ser considerada como constante apesar de na maioria das opiniões aceites o seu andamento ser do tipo que se esquematiza na mesma figura em *b*, diagrama que para efeitos de cálculo pode ser substituído pelo diagrama triangular que se indica a traço fino.

A falta de correlação entre as tensões de aderência e a sua distribuição nos diferentes tipos de ensaios estudados (pull-out tests, push-out tests, embedded rod tests, tension tests and beam tests, — bond or bending —), e a complexidade dos factores envoltos, como as dimensões das grandezas, propriedades dos materiais e seu

(1) A interessante comunicação de Y. Saillard «Estudo comparativo de critérios de aderência e fendilhação segundo as teorias de Brice, Efsen, Rüsh, Saliger e Wästlund» apresentada na Discussão do 1.º Tema do já citado Simpósio do RILEM, Liège-58, é bastante elucidativa sobre o ponto actual do problema.

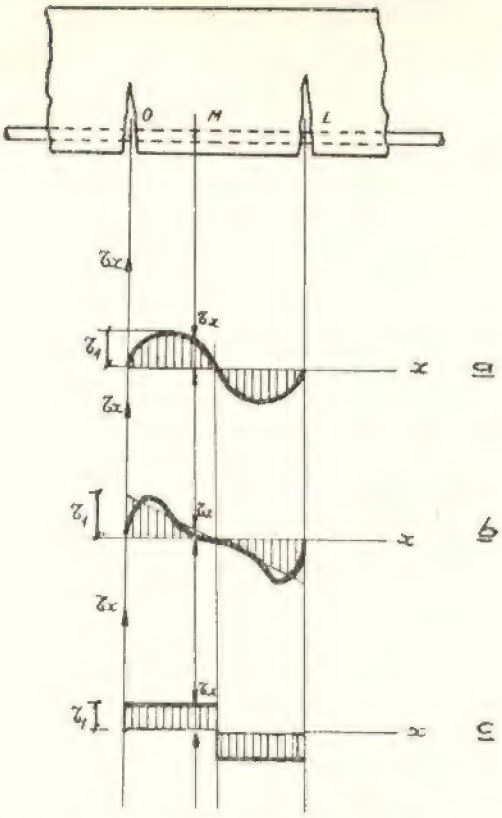



Fig. 2 — Andamento da função tensão de aderência aço-betão num troço limitado por duas fendas afastadas de *l*.

*a* na teoria de Saliger
*b* na teoria de Wästlund
*c* na teoria de Brice

estado de deformação, e duração e natureza dos ensaios, são os principais responsáveis pela dispersão que se encontra neste campo.

Parecem porém esclarecidos os parâmetros básicos que condicionam o fenómeno da fendilhação no betão armado, vindo a propósito enaltecer a acção do nosso L. N. E. C. no seu estudo e aprofundamento, bem expressa através dos seus vários Relatórios, C. I. T. e Comunicações apresentadas aos Congressos e Reuniões Internacionais de estudo do problema.

Em síntese, a fendilhação, pelo menos em vigas submetidas à flexão pura (1), é uma função

(1) A acção do esforço transverso no fenómeno é presentemente objecto de vários ensaios. Segundo os primeiros resultados, apresentados por Maldague, parece que o cálculo geral da fendilhação em flexão pura pode ser extensível aos casos em que existe esforço transverso. Porém o factor multiplicativo proposto não sofreu ainda o necessário acordo quantitativo experimental.

directa da tensão no aço, $\sigma_a$ e da relação entre o diâmetro dos varões d e a percentagem de armadura $\mu$ definida em relação a uma dada secção de betão, e inversa da qualidade do betão.

Deduz-se imediatamente que uma alta tensão no aço $\sigma_a$ pode ser compensada por um menor valor do espaçamento das fendas $a_m$. E isto pode bàsicamente obter-se de duas formas:

1 — Usando varões e betões com características e qualidades tais que possibilitem uma elevada tensão de aderência.

2 — Assegurando uma uniforme distribuição de varões de pequeno diâmetro na zona tracionada da viga, o que aumenta a superfície de aderência e diminui a relação $\frac{d}{\mu}$.

Podemos reunir as diversas fórmulas sugeridas para espaçamento médio entre fendas, em dois grupos:

— Para Brice, Rüsh, Murashev e outros, a distância média entre fendas $a_m$ é proporcional à relação $\frac{d}{\mu}$ em que d, é o diâmetro dos varões e $\mu$ a percentagem de armadura calculada em relação a uma dada secção de betão.

$$a_m = K \frac{d}{\mu}$$

em que K é uma constante para cada tipo de aço e qualidade de betão.

Para Brice a secção de betão deve ser uma secção com o mesmo centro de gravidade da armadura traccionada.

Já para Rüsh a secção do betão deve ser a do betão traccionado.

E ainda para Murashev (ver código Russo de 1955) a secção pode ser a secção total das vigas (caso de vigas rectangulares).

— Porém, para Wästlund, Efsen e a maioria dos escandinavos, e ainda de acordo com os investigadores do nosso L. N. E. C., a fórmula que melhor exprime a distância média entre as fendas, pelo menos em flexão pura, é

$$a_m = K' + K \frac{d}{\mu}$$

em que K e K' são anàlogamente constantes para cada tipo de aço e qualidade de betão.

Para Wästlund a secção de betão em relação à qual se define $\mu$ tanto pode ser a secção de betão traccionada como uma secção «revista» dessa zona.

Para Efsen, a secção de betão a considerar é a chamada secção «activa» de betão pela qual se pode compreender aquela parte à volta da armadura em que todas as forças transferidas dos varões da armadura são completamente absorvidas. E para a sua determinação propõe o autor relações mais ou menos aproximadas.

Ainda para os distintos investigadores, do nosso L. N. E. C., engenheiros J. Ferry Borges e J. d'Arga e Lima, a secção de betão a considerar pode ser a total secção de betão da nervura da viga (caso das vigas T) o que pelo menos é mais fácil de determinar na prática.

A divergência de critérios apontada, dá bem uma medida da dificuldade do problema (1). Várias fórmulas têm sido deduzidas, mas òbviamente o seu valor é limitado. Há tantos factores envoltos neste problema que é quase impossível considerá-los a todos na prática. Assim, por exemplo, as condições atmosféricas e o facto da retracção do betão se poder ou não dar livremente são de considerável importância na prática, e os seus efeitos são parcialmente incontroláveis.

Aliás, em si próprio o problema é de carácter estatístico, ou seja, a ocorrência das fendas é numa dada medida acidental, tendo-se deduzido experimentalmente um coeficiente de variação de 0.5 para a dispersão da largura das fendas, no campo das aplicações correntes.

De qualquer forma podemos dizer com Wästlund, que a principal finalidade duma fórmula de fendilhação é servir como prova, assegurando-nos que a estrutura se comportará bem no que respeita à formação de fendas. E que várias das fórmulas existentes cumprem satisfatòriamente esta finalidade.

Note-se porém que a teoria das tensões de aderência, tal como aplicável aos varões lisos ou de-

(1) A análise das Comunicações apresentadas aos anteriormente citados Simpósios do RILEM, Estocolmo 57 e Liège 58, das Teses e Conclusões expostas na reunião do Comité Europeu do Betão, Viena 59, e de tantos artigos sobre o assunto dessiminados pelas revistas da especialidade mostram bem como o problema não é dominado.

formados não o é inteiramente no caso dos aços de alta resistência obtidos por um adequado processo de trefilagem, e em que por dispositivos vários, normalmente por soldadura de elementos transversais, se obtêm distintas condições de aderência e amarração. Tal é o caso das armaduras electrosoldadas e do aço-Bi.

À luz dos conceitos habituais sobre fissuração, se a aplicação destes aços de tão elevadas tensões admissíveis $\sigma a = 3.000$ kg/cm² para as armaduras electrosoldadas e $\sigma a = 4.000$ kg/cm² para o aço-Bi, implica pequenas percentagens de armaduras, os varões têm sempre pequenos diâmetros, e assim é pràticamente impossível atingir elevados valores de $\frac{d}{\mu}$.

Contudo, a análise do fenómeno de fendilhação das peças de betão armadas com estes aços, apresenta características próprias e o seu enquadramento numa teoria geral de fendilhação é um assunto eminentemente actual.

Anderson, numa Comunicação apresentada à 48.ª Convenção Anual do ACI (1) (Ohio, Fevereiro de 52), foi dos primeiros investigadores a estudar largamente o problema da aderência das armaduras electrosoldadas.

Quer pelo estudo de lajes submetidas a um constante momento flector quer por uma série de ensaios de arrancamento em blocos prismáticos de betão, mostrou Anderson que a última resistência ao escorregamento não é função da área de contacto do varão longitudinal da armadura electrosoldada com o betão, mas que pelo contrário depende da ancoragem que os varões transversais lhe garantem.

As armaduras electrosoldadas têm assim propriedades de resistência ao escorregamento proporcionais à resistência que os varões transversais lhes garantem através dos pontos de soldadura.

Ensaios destrutivos em lajes armadas com armaduras electrosoldadas mostraram claramente as características de ancoragem do sistema. Em todos os casos as roturas deram-se por tracção pura nos varões longitudinais tendo ficado intactas todas as soldaduras.

Nos ensaios de arrancamento, cujo esquema de montagem pode ser visto na fig. 3, o escorregamento e transmissão de esforços para além dos pontos de soldadura do primeiro varão transversal embebido foram proporcionais à razão de decrescimento entre os varões transversais e longitudinais, tendo-se verificado que para as razões de decrescimento dos tipos de fabrico normais, os varões longitudinais atingem a rotura sem cedência das soldaduras.

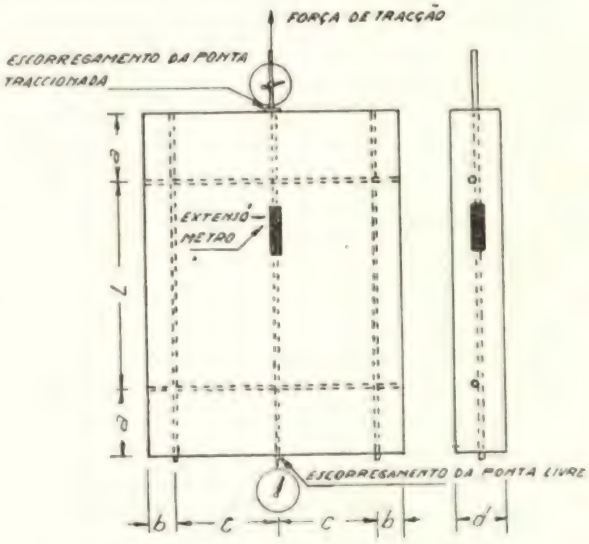


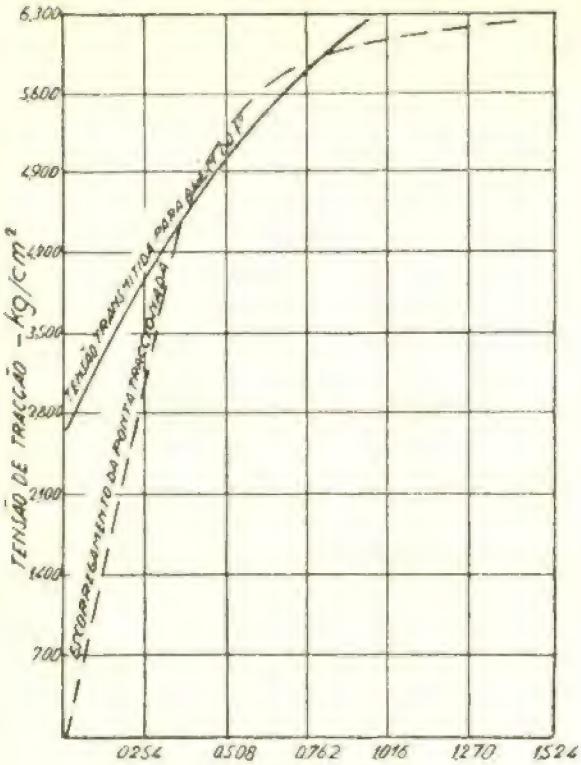

Fig 3 — Esquema dos ensaios de Anderson

Nas figs. 4, 5 e 6 que se apresentam a seguir mostra-se a transmissão de esforço, em percentagem, para alem do primeiro ponto de soldadura, para três razões de decrescimento dos varões transversais (varões que através da soldadura garantem a ancoragem e distribuição dos esforços) em relação aos varões longitudinais, (de função essencialmente resistente).

Mas independentemente do conhecimento teórico ou mesmo experimental da forma que a função tensão de aderência reveste neste caso (e já foi dito que para os varões lisos ou deformados tal função também não é inteiramente dominada) os resultados experimentais obtidos nos principais laboratórios da Europa e América têm mostrado o surpreendente comportamento das lages armadas com armaduras electrosoldadas.

Todos os estudos posteriormente feitos na Europa e nos E. U. sobre a aderência e ancoragem das armaduras electrosoldadas e que serviram de base à elaboração das normas e regulamentação aplicáveis quando da sua utilização,

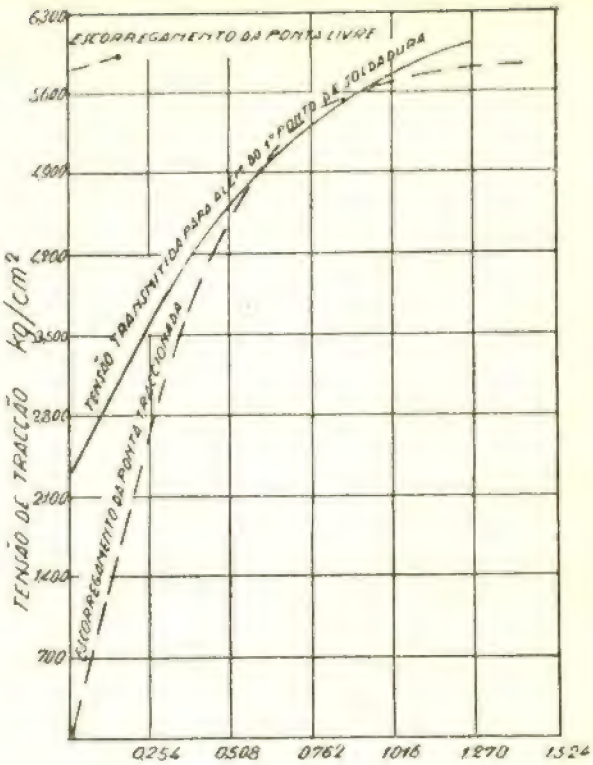
(1) Bond Properties of Welded Wire Fabric.




*Escorregamento* — mm

*Tensão transmitida para além do 1.º ponto de soldadura*

Fig. 4 — Escorregamento e tensão média para além do 1.º ponto de soldadura para uma malha electrosoldada cuja secção dos arames transversais é duas vezes menor que a dos longitudinais




*Escorregamento* — mm

*Tensão transmitida para além do 1.º ponto de soldadura*

Fig. 5 — Escorregamento e tensão média para além do 1.º ponto de soldadura para uma malha electrosoldada cuja secção dos arames transversais é quatro vezes menor que as dos longitudinais

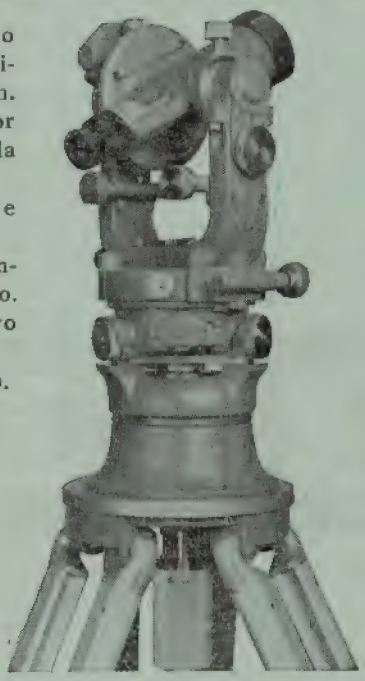
e entre elas as do nosso L. N. E. C., corroboram em que não há necessidade duma análise do problema da ancoragem e das consequentes e normais disposições construtívas para a assegurar como a existência de ganchos nas extremidades dos varões, comprimentos mínimos de amarração, etc., bastando para a garantir, selecionar uma adequada relação de diâmetros dos varões longitudinais e transversais das armaduras electrosoldadas e especificar mínimas resistências para os pontos de soldadura.

Anàlogamente o estudo do fenómeno da aderência nas peças de betão armado com aço-Bi, e o estabelecimento duma sua teoria, é um problema actualissimo. Devem-se aos distintos investigadores Profs. Drs. Engs. E. Fredrich, da Escola Superior Técnica de Graz — Austria e H. Rüsch, da Escola Superior Técnica de Munique — Alemanha, e às suas brilhantes equipes de colaboradores, várias séries de ensaios tendentes a definir o problema.

Parece na realidade que a acção do aço-Bi é fundamentalmente distinta da de qualquer outro aço laminado.

Como se sabe, a ideia básica do aço-Bi é a junção de 2 varões de aço de alta resistência, posteriormente trefilados, provenientes duma matéria-prima Siemens Martin de composição especial, por barretas transversais de aço macio e resistente, junção essa obtida através dum processo de soldadura eléctrica automática, com aparelhagem de controle electrónico expressamente desenvolvida para esse fim. Tem-se assim um aço de construção resultando da combinação de duas qualidades de aço, cujas características pretende adequadamente aproveitar. Enquanto que as forças de tracção são absorvidas pelos aços trefilados de alta resistência, a transmissão de esforços do aço para o betão não é realizada por aderência, mas sim

DKM 2 — O taqueómetro de triangulação de círculo duplo (leitura directa 1 seg.) com múltiplas possibilidades de emprego: Triangulação II.-IV. ordem. Poligonação de precisão. Medição de distâncias por mira de base de invar ou por equipamento de dupla imagem. Observações astronómicas.
Óculo de grande alcance com 30 × de aumento e abertura de 45 mm.
O mais moderno sistema de eixos e de horizontalidade e aperfeiçoada construção do estativo. Operação de centragem muito simples com o novo tripé automático.
Peça o prospecto descritivo.



Kern SWISS

KERN — Instrumentos geodésicos de fama mundial pela perfeição técnica e precisão.

REPRESENTANTES PARA PORTUGAL:

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA

RUA DE SANTO ANTÓNIO, 137-145 — PORTO — TEL. 20254/5
RUA ANTERO DE QUENTAL, 17-1.º — LISBOA — TEL. 53366

# UNILENE

Os tubos de polietileno «UNILENE», os seus acessórios de plástico «UNI-PLAST» e o seu processo de montagem e soldadura estão aprovados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para:

CANALIZAÇÕES DE ÁGUA — Proc. 217-III

E

CANALIZAÇÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO — Proc. 228-III

UNILENE

SOCIEDADE FABRIL DE MATÉRIAS PLÁSTICAS

**PORTO**
RUA DO HEROÍSMO, 291
Telef. 5 26 71

**LISBOA**
RUA DA EMENDA, 19
Telef. 2 04 48

**COIMBRA**
AV. FERNÃO DE MAGALHÃES, 282
Telef. 2 69 84

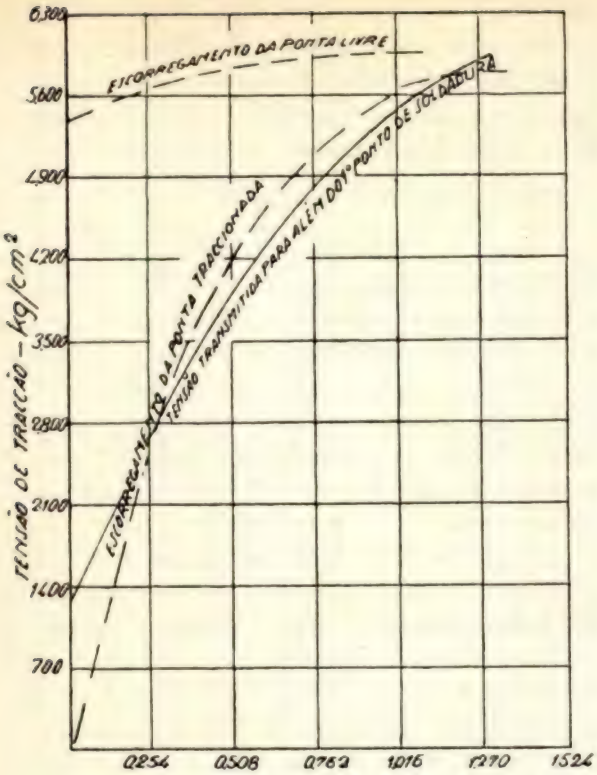



Fig. 6 — Escorregamento e tensão média para além do 1.º ponto de soldadura para uma malha electrosoldada, cuja secção dos arames transversais é seis vezes menor que a dos longitudinais

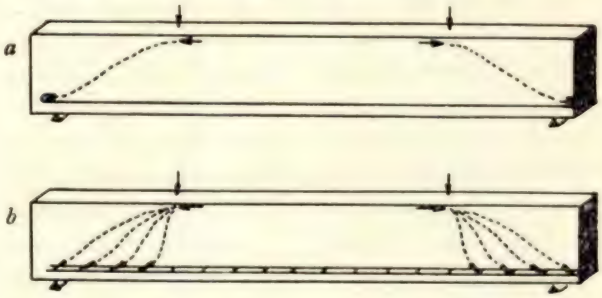
pelas barretas soldadas que trabalham à compressão, à flexão e ao corte.

Para melhor se compreender o específico comportamento destes aços no fenómeno da fendilhação, considere-se um ensaio esquemático de rotura duma viga de betão armado, supondo aumentos graduais de carga: —

Para os varões normais ligados ao betão por aderência e atrito antes do aparecimento da 1.ª fenda a tensão no aço é *n* vezes a tensão da tracção no betão, cerca de 150-200 kg/cm². Uma vez ultrapassada a tensão de rotura por tracção do betão aparece a 1.ª fenda e o betão dessa zona faz passar ao aço, por aderência, a totalidade de forças de tracção. (Ver as considerações atrás expostas sobre o mecanismo da fendilhação).

O varão traccionado alonga, diminui de secção transversal pelo efeito de Poisson e deixa de aderir localmente ao betão. No caso de um varão liso, cujas irregularidades superfíciais são da mesma ordem de grandeza do constrangimento, o betão solta-se do aço, de modo que a armadura só está agarrada pelos ganchos.

No caso de varões laminados, com irregularidades, estas podem ainda possibilitar uma certa aderência que faz com que novamente se transmitam ao betão tensões de tracção. Aumentando a carga dá-se nova fenda e o fenómeno repete-se. Mesmo nestas armaduras a aderência não é suficiente para impedir que o varão se solte.




*a* varões lisos ou laminados com irregularidades
*b* aço-Bi

Fig. 7 — Esquema elementar comparativo do fenómeno da aderência entre varões lisos (e numa dada medida varões laminados com irregularidades) e o aço-Bi

No caso de uma viga possuindo exclusivamente varões direitos (vide fig. 7) forma-se em ambos os casos uma abóboda que se apoia nos ganchos, passando a armadura a funcionar como tirante dessa abóboda. No caso de vigas com varões levantados há certa amarração no ponto de inflexão, para o que é necessária a sua ancoragem na zona de compressões.

Contràriamente, a ligação do betão com o aço-Bi é independente do constrangimento. As forças do betão são transmitidas não pela superfície do varão, mas sim pelas barretas transversais. E como as barretas transversais são próximas pode supor-se uma contínua transmissão de esforços ao longo da armadura e a viga trabalhará sempre como tal até à rotura do aço-Bi. A armadura nunca trabalha como tirante e assim não é preciso haver ganchos. Do mesmo modo não são precisas amarrações especiais para o aço-Bi na zona de compressões, visto não haver concentração local de cargas nos pontos de inflexão.

Tal como se disse para o caso das armaduras electrosoldadas, cujo processo de aderência é

aliás similar nas suas linhas gerais ao acabado de expor para o aço-Bi, pode repetir-se que independentemente dum perfeito e exacto conhecimento teórico do fenómeno de aderência neste aço, todos os estudos feitos na Europa e que têm servido de base à elaboração das normas e regulamentos aplicáveis quando da sua utilização no betão armado, entre eles o do nosso L.N.E.C. (1), desde os estudos iniciais dos Laboratórios de Graz, Viena e Munique, ao recente estudo do Laboratório Federal de Zurique, (2), concordam nas extraordinárias características de aderência e ancoragem que o aço-Bi possibilita. Assim, além de se dispensar a verificação da tensão de aderência entre o betão e as armaduras, estabelece-se que o aço-Bi pode ser empregado sem ganchos terminais, sendo os comprimentos de amarração calculados na hipótese de que cada barra transversal transmite ao betão forças de amarração função do diâmetro do aço-Bi, e que, por barragem transversal, variam de 150 kg do Bi 31 a 1500 kg do Bi 98. E admite-se ainda que os varões de aço-Bi que já não sejam necessários para resistir aos momentos flectores podem ser levantados e terminar puramente na zona de compressão sem a necessidade de quaisquer dispositivos de ancoragem.

No fim do capítulo 2.1, após terem sido focados alguns problemas relativos à ruína por rotura, foi dito que a sua existência não é óbice de vulto à utilização de aços de alta resistência no betão armado, desde que na elaboração e execução do projecto eles sejam conscientemente tomados em conta.

Também as considerações acabadas de fazer ao longo do presente capítulo sobre a ruína por fendilhação e os seus problemas, não têm outra pretensão que dar uma ideia das dificuldades e condicionamentos que o probema da fendilhação pode pôr no dimensionamento em betão armado, e mostrar, que apesar de o fenómeno não estar inteiramente dominado na sua interpretação teórica, as elevadas tensões de segurança admissíveis para os aços de alta resistência foram estabelecidas atendendo devidamente ao problema da fendilhação e não constituem de modo algum uma razão válida para, em casos normais, fundamentar uma argumentação de dúvida e receio, senão de indeferença e espectativa, ante a utilização de eventualmente melhores e mais económicas formas de dimensionamento no betão armado.

2.3. *A ruína por deformação*

Embora o problema não seja directamente dependente das tensões a considerar no aço, a utilização das elevadas tensões que os aços de alta resistência implicam, impõe uma cuidadosa análise do aspecto da ruína por deformação.

Há que distinguir entre a deformação instantânea devida à aplicação das solicitações e a deformação não instantânea ou lenta sob a sua permanência. O comportamento das peças de betão armado é diferente em ambos os casos, e no caso da utilização de aços de alta resistência nas peças de betão armado, tal facto parece ter nítida repercusão na consideração do problema. De qualquer forma a deformabilidade instantânea devida ao peso próprio pode ser compensada por dispositivos iniciais de cofragem, o que também é válido até um certo ponto no que respeita à deformação devida à retracção e fluência sob o peso próprio, mas não na deformação devida às sobrecargas.

Numa interessante comunicação apresentada à reunião de Munique em 1959, da Associação Alemã do Betão (1), o prof. Leonhardt demonstrou teòricamente que ao passo que a deformação instantânea aumentava na mesma proporção que as tensões de serviço nas armaduras, a deformação sob a permanência das cargas era muito menos afectada pelas tensões de serviço.

E recentes ensaios conduzidos sob a orientação do Dr. Hajnol-Kónyi (2), confirmaram amplamente a teoria do prof. Leonhardt.

Parece assim que se a importância das deformações aumenta com as elevadas tensões de serviço admissíveis, se se providenciar com um adequado dispositivo inicial de contra flecha para compensar a influência do peso próprio, o efeito das maiores tensões de serviço admissíveis nos aços de alta resistência em relação às do aço macio normal, é muito menos sério do que

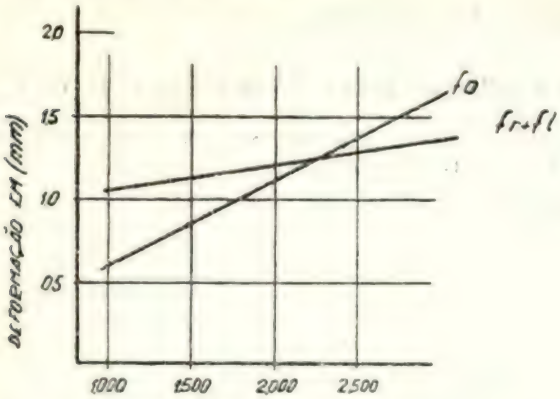
(1) Estudos de Aços Especiais para Betão Armado — Aços Bi-Stahl — Lisboa, Agosto 1959.

(2) Bi-Stahl EMPA Versuche, Zurique, Setembro 1959.

(1) Vide Beton und Stahlbetonbau V. 54, n.º 10 Out.º 59.

(2) Vide os já citados Proceedings V. 55 A. C. I., Dez.º 59 Disc. 55-75 sobre o artigo de G. Wästlund «Uso de A. A. R. no betão armado» (Journal A. C. I. V 30, Junho 59).

se poderia supor pela comparação das deformações instantâneas (ver fig. 8).




$f_0$ = deformação inicial
$f_r + f_l$ = deformação devida a retracção e fluência

Fig. 8 — Relação entre a tensão no aço e a deformação, de acordo com um exemplo numérico apresentado pelo prof. Leonhardt

Os métodos geralmente usados e consagrados em regulamentos não evoluiram ainda no sentido de considerar a formação de fendas, a retracção do betão, e a deformação plástica do betão sob a acção de cargas permanentes, na acção que exercem sobre a deformação. O problema é complexo, sem dúvida, e apesar de vários estudos e ensaios actuais continua embrionário.

E mesmo mais, a deformação nociva e a noção de segurança à deformação variação lògicamente dum caso para outro.

Assim, por enquanto, a maioria dos regulamentos limita-se neste capítulo a definir os graus de segurança à deformação a considerar em vários casos, estabelecendo a rigidez dos elementos através da fixação dos valores das relações entre as alturas das peças submetidas a flexão e os vãos com que trabalham.

Se o conhecimento teórico da fendilhação e das teorias de aderência no betão armado, sobretudo com a aplicação de alguns aços de alta resistência, não é perfeitamente dominado, o estabelecimento de uma teoria da ruína por deformação nas peças de betão armado, e da acção no fenómeno do emprego dos aços de alta resistência, é um assunto extremamente actual. Contudo, dado o problema não ser directamente dependente das tensões, o dimensionamento do moderno betão armado com aços de alta resistência não está òbviamente em causa.

O que sob o ponto de vista prático se impõe cada vez mais, é, após o cálculo da capacidade de carga da estrutura, fazer uma verificação da sua deformabilidade, em função da noção de deformação nociva e da noção de segurança à deformação em que, pela sua finalidade, a estrutura se deve enquadrar.

## 3. CONCLUSÃO

A expansão da aplicação dos aços da alta reristência no betão armado é um facto incontroverso. A consideração do factor técnico-económico no moderno dimensionamento do betão armado conduz cada vez mais à sua utilização paralelamente às soluções pré-esforçadas que alguns específicos problemas aconselham.

Qualquer que seja a forma de cálculo adoptada, quer seja o cálculo clássico, quer se utilizem os modernos e mais evoluídos métodos de cálculo à rotura, a aplicação dos aços de alta resistência trabalhando a elevadas tensões, pode fazer-se dentro dos usuais critérios de segurança, pois o seu estabelecimento obedeceu a convenientes e adequados ensaios tendentes a fixá-las em função dos fenómenos das ruinas por rotura, fendilhação e deformação, que condicionam o dimensionamento no betão armado.

Independentemente dum perfeito e exacto conhecimento de alguns problemas, pouco definidos desde sempre no trabalho das peças de betão armado e a que a utilização dos aços de alta resistência veio dar maior acuidade e grande actualidade, os ensaios feitos nos principais laboratórios europeus e americanos têm permitido definir concordantes condições de segurança aliadas a específicas disposições construtivas, que permitem a ampla aplicação dos aços de alta resistência na maioria dos estruturas, tal como prescrito nas normas e regulamentos dos vários Países.

Como é lógico, o que se torna necessário no emprego duma mais evoluída técnica de dimensionamento, é um consciente conhecimento dos problemas a que essa técnica pode dar origem ou maior relevo, e uma maior objectividade na execução das obras de forma a que as disposições construtivas e outros condicionamentos resultantes da sua aplicação sejam devidamente respeitados.

C. D. U. 621.311.5/94

# Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

## — Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94, °/₀ dos totais do País.*

## FEVEREIRO

### I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Fevereiro apresentou-se, no conjunto, muito acima da média.

### II — Elementos gerais (GWh)

*a*) Mensais

| | 1959 | 1960 | Variação °/₀ |
|---|---|---|---|
| Produção hidráulica ($P_h$) . . . | 224,1 | 255,7 | + 14 |
| Produção térmica ($P_t$) . . . . . | 0,0 | 4,2 | — |
| Produção total ($P_T$) . . . . . | 224,1 | 259,9 | + 16 |
| Produção para consumos não perman. ($P_{cnp}$) . . | 56,7 | 58,4 | + 3 |
| Produção para consumos permanentes ($P_{cp}$) . . | 167,4 | 201,5 | +20,4 (²) |

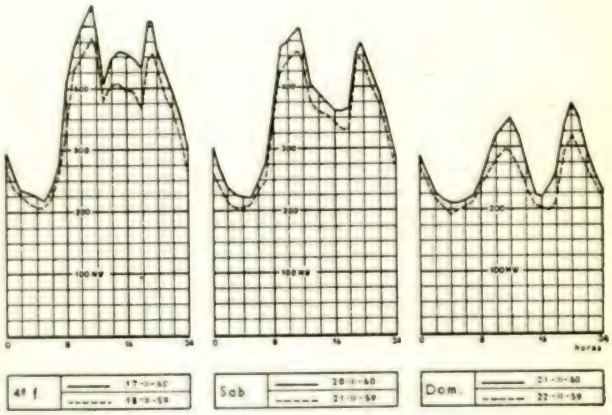
*b*) Acumulados desde 1 de Janeiro de 1959

| | 1959 | 1960 | Variação °/₀ |
|---|---|---|---|
| Produção hidráulica ($P_h$) . . . | 475,6 | 523,0 | + 10 |
| Produção térmica ($P_t$) . . . . . | 0,0 | 8,5 | — |
| Produção total ($P_T$) . . . . . | 475,6 | 531,5 | + 12 |
| Produção para consumo não perman. ($P_{cnp}$) . . | 120,1 | 121,0 | + 1 |
| Produção para consumos permanentes ($P_{cp}$) . . | 355,5 | 410,5 | +15,5 (²) |

*Nota:* (²) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, foi respectivamente de 17,8 e 13,1 °/₀.

### II — Diagrama de carga dos dias característicos

| | 4.ª feira: | |
|---|---|---|
| | 18-2-959 | 17-2-960 |
| Produção hidráulica ($P_h$) — MWh | 8441 | 9348 |
| Produção térmica ($P_t$) — MWh . . | 0 | 0 |
| Produção total ($P_T$) — MWh . . . | 8141 | 9348 |
| Produção para consumos não permanentes — MWh . . . . . | — | — |
| Utilização da ponta (U) — horas | 17,6 | 17,5 |
| Factor de carga (α) . . . . . | 0,73 | 0,73 |
| Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r) . . . . . | 0,42 | 0,41 |




### III — Energia armazenada nas principais albufeiras

| Albufeiras: | No fim do mês | |
|---|---|---|
| | GWh | °/₀ (¹) |
| Paradela . . . . . | 222,5 | 100,0 |
| Venda Nova . . . . . | 122,5 | 95,7 |
| Salamonde . . . . . | 25,1 | 90,9 |
| Caniçada . . . . . | 30,9 | 93,4 |
| Guilhofrei . . . . . | 313,2 | 92,3 |
| Lagoa Comprida . . . . . | 153,5 | 94,2 |
| Santa Luzia . . . . . | 8,3 | 100,0 |
| Cabril . . . . . | 32,8 (²) | 100,0 |
| Castelo do Bode . . . . . | 61,5 | 99,8 |
| Pracana . . . . . | 12,9 | 100,0 |
| Póvoa . . . . . | 13,0 (³) | 99,0 |
| Total . . . | 996,2 | 95,5 |

*Notas:*

(¹) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(²) Inclui 3,4 GWh armazenados em Vale do Rossim.

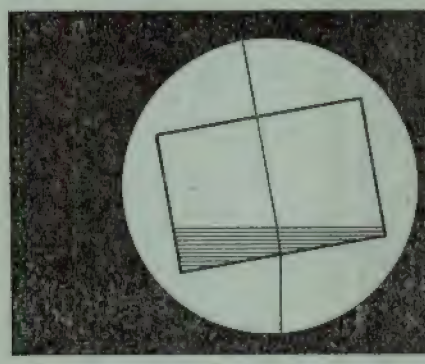
(³) Inclui 2,7 GWh armazenados no açude do Poio.

# O NOVO TEODOLITO

## Wild T 1-A

com calagem
zenital automática

O teodolito com os aperfeiçoamentos mais modernos, permitindo medições mais fáceis, rápidas e mais exactas



Automatismo duma concepção surpreendentemente simples: Prisma com líquido sem partes mecânicas, sem desgaste, sem desarranjos sem reparações.

Detalhes no prospecto Th 154

**WILD**
HEERBRUGG

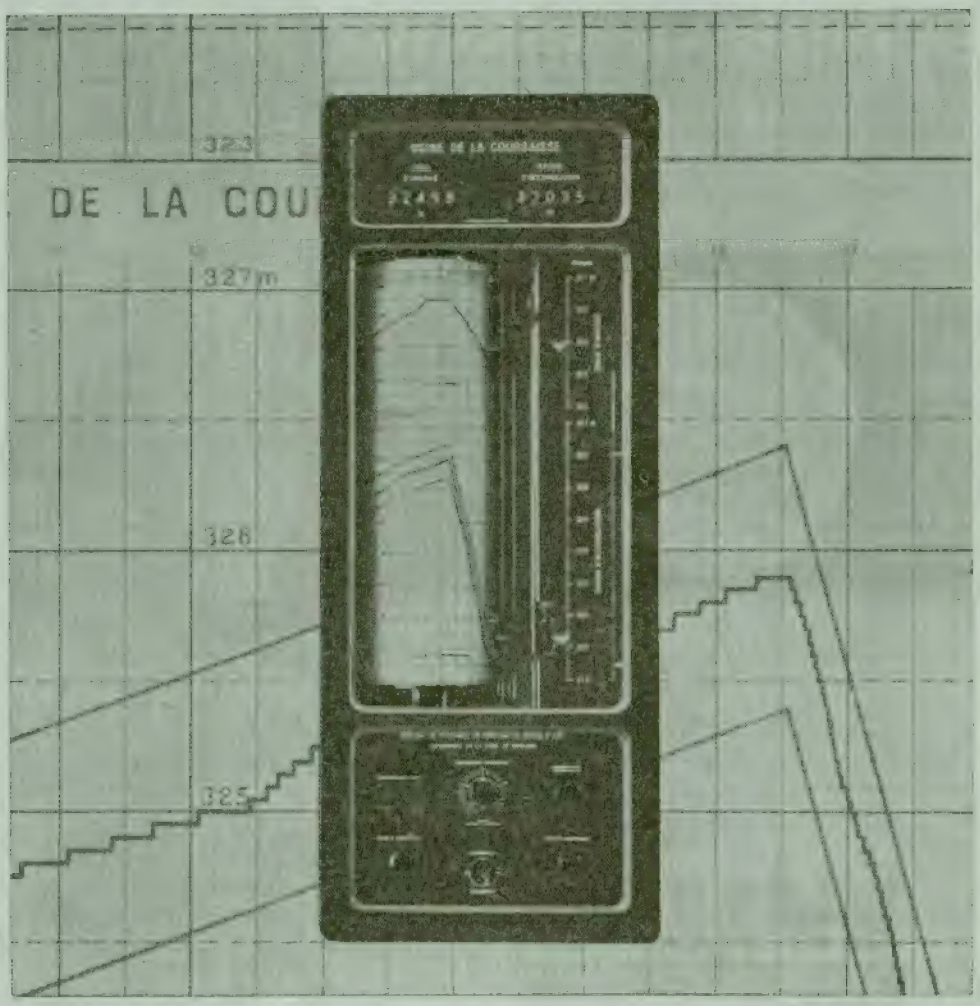
Solicitem catálogo ou demonstração ao representante exclusivo:

# WILD PORTUGAL, L.DA

**LISBOA** — PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8, S/L 6 — Tel. 68 1127

# FR. RITTMEYER S. A.

**Fabricantes de equipamento de controle para serviços de distribuição de água, barragens, etc.**




Teleregistador de nível combinado com teleregulação automática de potência da Central Hidroeléctrica de la Courbaisse (Alpes marítimos)

**REPRESENTANTES:**

*FACTO, LDA.*

*R. DA MADALENA, 46-2.º — LISBOA*

C.D.U. 539.166.119

# DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE MEIOS MATERIAIS PELO MÉTODO DE ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO $\gamma$

POR CARLOS LLOYD BRAGA
(Centro de Estudos da Energia Nuclear [1]
Instituto de Alta Cultura — Lisboa)

## 1 — Introdução

O presente trabalho foi realizado durante um estágio no A. E. R. E. [2], Inglaterra, o qual consistiu no estudo da determinação de espessuras de meios materiais, a partir da interacção da radiação $\gamma$ emitida por substâncias radioactivas com o meio material cuja espessura se pretende determinar.

Como caso concreto da aplicação houve que determinar a possibilidade de detectar variações de espessura da ordem de 0,001'', numa peça com a configuração indicada na figura 1-1, em que $e = 0{,}125''$ é a espessura da chapa de aço de cada calote esférica, e $d$, que varia entre 0'' e 1', é a espessura de ar entre as calotes.

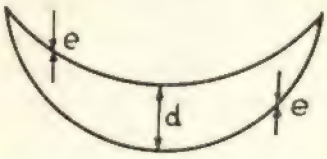



Fig. 1-1

O método experimental adoptado, nas suas linhas gerais, consistiu em medir a intensidade de um feixe de radiação $\gamma$, depois de atravessar a chapa cuja espessura se pretende determinar, e a partir desse valor, calcular a espessura atravessada por comparação com uma curva padrão.

## 2 — Base teórica do método

### 2.1 — Interacção fotão-matéria

A radiação $\gamma$ ao atravessar os meios materiais sofre normalmente três tipos de interacção:

a) *Efeito fotoeléctrico:* interacção fotão-átomo, que origina a ionização do átomo, consequência de um choque elástico entre o fotão e um electrão do átomo, e na qual, toda a energia e quantidade de movimento do fotão é transmitida ao electrão e átomo ionizado.

A secção eficaz microscópica, ou seja, a probabilidade de interacção $\sigma_1$ por átomo de meio absorvente, é aproximadamente proporcional a $Z^5/E_\gamma^{7/2}$, na zona de energia $E_\gamma$ que nos interesse considerar. Z é o número atómico do átomo ao qual pertence o electrão e $E_\gamma$ a energia do fotão.

A secção eficaz macroscópica, ou probabilidade de interacção $\Sigma_1$ por unidade de comprimento de meio material atravessado, será:

$$\Sigma_1 = \rho_a \cdot \sigma_1 = k_1 \cdot \rho_a \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}}$$

em que $\rho_a$ é o número de átomos por unidade de volume, e $\sigma_1$ é a secção eficaz microscópica com as dimensões de uma área.

b) *Efeito de Compton:* interacção fotão-electrão, que consiste no choque elástico do fotão com um electrão livre ou electrão de um átomo, em consequência do qual o fotão, não só é desviado da sua trajectória inicial como parte da sua energia e quantidade de movimento é transmitida ao electrão livre ou átomo que contém o electrão.

A secção eficaz microscópica $\sigma_2$, por electrão de meio absorvente, é aproximadamente proporcional a $1/E_\gamma$

A secção eficaz macroscópica será:

$$\Sigma_2 = \rho_e \cdot \sigma_2 = k_2 \cdot \rho_e \cdot \frac{1}{E_\gamma}$$

em que $\rho_e$ é o número de electrões por unidade de volume do meio material.

a) *Produção de pares:* interacção fotão-núcleo, só possível para fotões de energia $E > 1{,}02$ MeV,

(1) Centro de Química do I. S. T.
(2) A.E.R.E. — Atomic Energy Research Establisliment Harwell, near Didcot – Berks.

quando estes passam na vizinhança de núcleos de número atómico elevado, e que consiste na produção de um electrão e um positrão, à custa do desaparecimento do fotão, animados de uma energia cinética, cuja sua soma será em primeira aproximação:

$$T = E_\gamma = 2\, m_o\, c^2$$

se desprezarmos a pequena quantidade de energia que deve ser transferida para o núcleo que catalizou a interacção.

A secção eficaz microscópica, $\sigma_3$, é proporcional a $Z^2$ e aumenta com $E_\gamma$, podendo-se admitir, em primeira aproximação, que é também proporcional a $E_\gamma$.

A secção eficaz macroscópica, por unidade de comprimento do meio absorvente atravessado será:

$$\Sigma_3 = \rho_n \,.\, \sigma_3 = k_3 \,.\, \rho_n\, Z^2 \,.\, E_\gamma$$

em que $\rho_n$ é o número de núcleos por unidade de volume do meio material.

## 2.2 — Absorção da radiação $\gamma$ pela matéria

Consideremos um feixe de fotões monoenergéticos, devidamente colimado de modo a podermos admitir que as suas trajectórias são paralelas, incidindo perpendicularmente à superfície do meio material.

Consideremos ainda um detector direccional que acusa a presença do feixe paralelo de fotões.

Se um fotão do feixe sofrer uma interacção por parte do meio material que atravessa, do ponto de vista do detector, tudo se passa como se esse fotão desaparecesse do feixe, mesmo que o tipo de interacção seja o efeito de Compton.

Nestas condições, a fracção do número de fotões incidentes que desaparecem do feixe paralelo ao atravessar o meio material, deverá variar sòmente com a espessura desse meio, e a lei de absorção deverá ser uma lei exponencial.

Seja $I_o$ a intensidade de um feixe paralelo de fotões monoenergéticos, incidindo perpendicularmente na superfície de um meio material.

O número de fotões que desaparecem do feixe, $-dI$, por este atravessar uma espessura dx do meio material, deverá ser:

$$-dI = \Sigma I\, dx \qquad (1)$$

em que $\Sigma$, constante de proporcionalidade, é a secção eficaz macroscópica ou coeficiente de absorção linear do meio material atravessado, e traduz a probabilidade de interacção por unidade de comprimento, para uma dada energia do fotão.

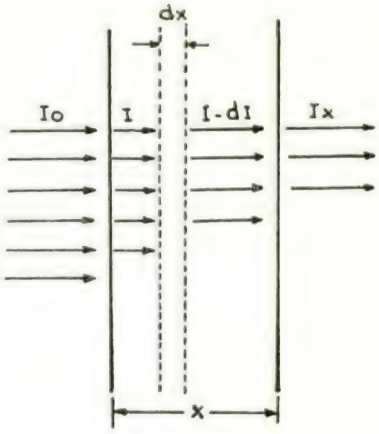



Fig. 2-1

Integrando a equação (1), por ser $I_o$ a intensidade inicial do feixe de fotões, teremos:

$$I_x = I_o\, e^{-\Sigma . x} \qquad (2)$$

em que $I_x$ é a intensidade do feixe de fotões depois de atravessar a espessura x, de um meio material cujo coeficiente de absorça linear é $\Sigma$.

A equação (2), válida para cada um dos três tipos de interacção indicados, é também aplicável ao conjunto dos três tipos de interacção, desde que se faça:

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3$$

sendo $\Sigma_1$, $\Sigma_2$ e $\Sigma_3$ as probabilidades de interacção, respectivamente, para o efeito fotoeléctrico, efeito de Compton e produção de pares, e $\Sigma$ a probabilidade de interacção total.

$$-\frac{dI}{I} = \Sigma_1\, dx + \Sigma_2\, dx + \Sigma_3\, dx =$$
$$= (\Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3)\, dx = \Sigma\, dx$$

logo

$$I_x = I_o\, e^{-(\Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3)\, x} = I_x\, e^{-\Sigma . x}$$

## 2.3 — Coeficiente de absorção mássica

Como vimos atrás, a secção eficaz macroscópica ou coeficiente de absorção linear, é igual ao produto da secção eficaz microscópica pelo número de átomos, electrões ou núcleos por unidade de volume, conforme o tipo de interacção.

Podemos então escrever:

$$\Sigma_1 = \rho_a \cdot \sigma_1$$
$$\Sigma_2 = \rho_e \cdot \sigma_2$$
$$\Sigma_3 = \rho_n \cdot \sigma_3$$

Sendo:

$$\rho_a = \rho_n = \frac{\rho}{[A]} \cdot N_a$$

$$\rho_e = \frac{Z\rho}{[A]} N_a$$

em que

$\rho$ = massa específica
$Z$ = número atómico
$[A]$ = peso atómico
$N_a$ = número de Avogrado

Teremos então:

$$\Sigma_1 = \frac{\rho}{[A]} \cdot N_a \cdot \sigma_1 = k_1 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}}$$

$$\Sigma_2 = \frac{Z\rho}{[A]} \cdot N_a \cdot \sigma_2 = k_2 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot \frac{Z}{E_\gamma}$$

$$\Sigma_3 = \frac{\rho}{[A]} \cdot N_a \cdot \sigma_3 = k_3 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot Z^2 \cdot E_\gamma$$

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3 = \rho \cdot \left[ \frac{N_a \cdot \sigma_1}{[A]} + \frac{Z \cdot N_a \cdot \sigma_2}{[A]} + \frac{N_a \cdot \sigma_3}{[A]} \right] = \frac{\rho \cdot N_a}{A} \left[ k_1 \cdot \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} + k_2 \cdot \frac{Z}{E_\gamma} + + k_3 \cdot Z^2 \cdot E_\gamma \right]$$

Para que o coeficiente de absorção seja independente da massa específica, é costume usar a espessura expressa em unidades de massa por unidade de área, o que se obtém multiplicando x por $\rho$, e passando o coeficiente de absorção a ser expresso em unidades de área por unidade de massa, a que se chama coeficiente de absorção mássica $\mu$.

Teremos então:

$$\mu = \frac{\Sigma}{\rho} = \frac{N_a \cdot \sigma_1}{[A]} + \frac{N_a \cdot Z \cdot \sigma_2}{[A]} + \frac{N_a \cdot \sigma_3}{[A]}$$

e a equação (2) transforma-se:

$$I = I_o \, e^{-\mu \cdot \rho \cdot x} = I_o \, e^{-\mu \cdot l}$$

em que

$$l = \rho \cdot x \qquad (3)$$

é a espessura expressa em unidades de massa por unidade de área.

### 2.4 — Variação do coeficiente de absorção com o número atómico e energia dos fotões

Das expressões atrás vemos que:

$$\Sigma_1 = k_1 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} \qquad (4')$$

$$\Sigma_2 = k_2 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot \frac{Z}{E_\gamma} \qquad (4'')$$

$$\Sigma_3 = k_3 \cdot N_a \cdot \frac{\rho}{[A]} \cdot Z^2 \cdot E_\gamma \qquad (4''')$$

$$\mu_1 = k_1 \cdot N_a \cdot \frac{1}{[A]} \cdot \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} \qquad (5')$$

$$\rho_2 = k_2 \cdot N_a \cdot \frac{1}{[A]} \cdot \frac{Z}{E_\gamma} \qquad (5'')$$

$$\mu_3 = k_3 \cdot N_a \cdot \frac{1}{[A]} \cdot Z^2 \cdot E_\gamma \qquad (5''')$$

Conhecido $\Sigma$ ou $\mu$ para um dado meio material ($Z$, $A$ e $\rho$) e uma certa energia $E_\gamma$ dos fotões incidentes, o seu valor pode ser calculado para um outro meio material ($Z'$, $A'$ e $\rho'$) e energia $E'_\gamma$ dos fotões, a partir das equações (4) ou (5).

A fig. 2-2 [1] mostra a variação dos valores de $\Sigma_1$, $\Sigma_2$ e $\Sigma_3$ em função da energia dos fotões, para o chumbo.

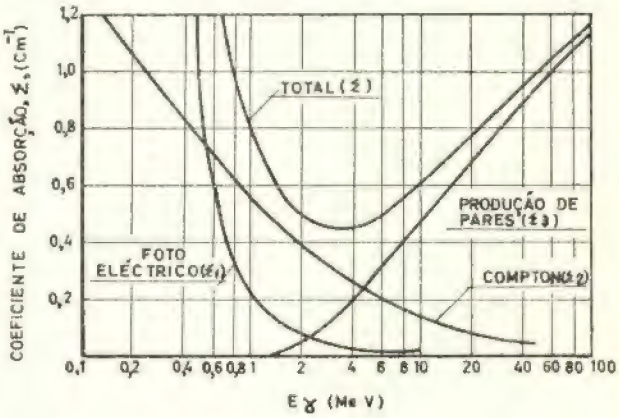



Fig. 2-2

A fig. 2-3 [1] mostra como varia $\Sigma$ com a energia dos fotões, para o chumbo, estanho, cobre e alumínio.

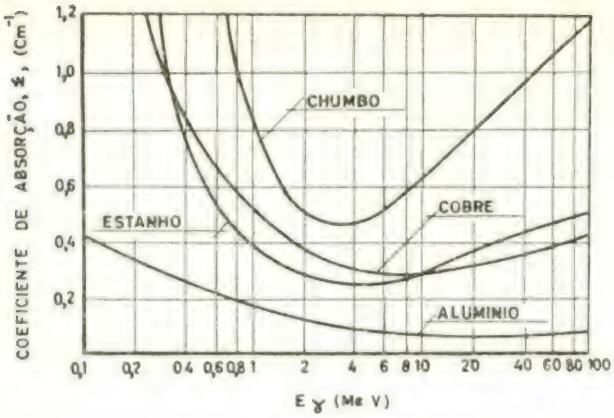



Fig. 2-3

As figs. 2-4 e 2-5 mostram a variação de $\mu$ em função da energia dos fotões e do número atómico do meio material que eles atravessam.

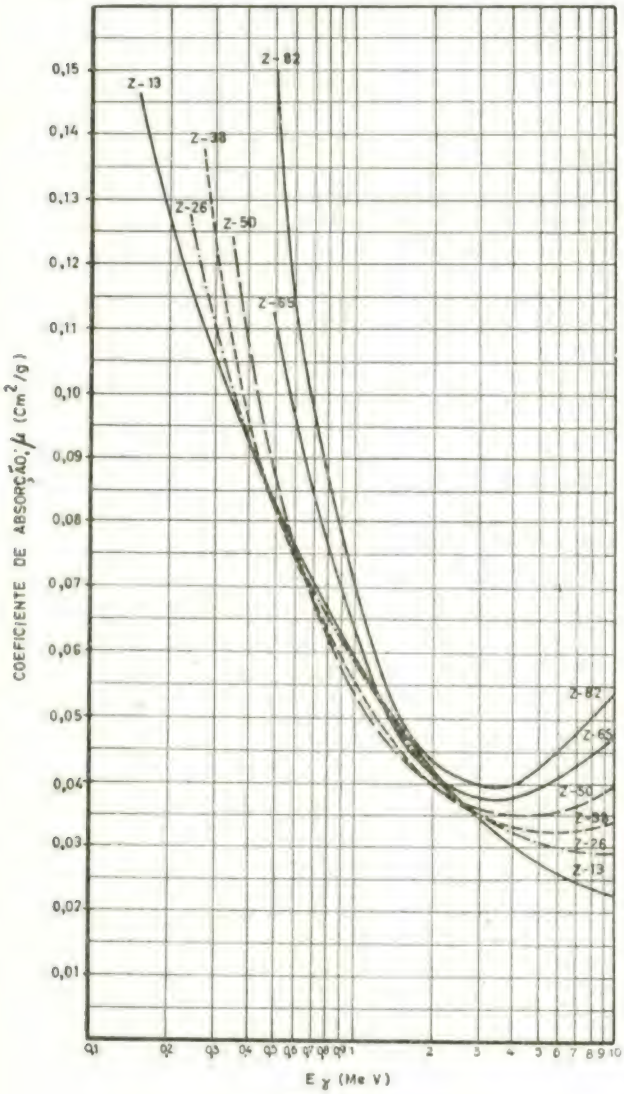



Fig. 2-4

## 2-5 — Semi-espessura de absorção

Chama-se semi-espessura de absorção de um

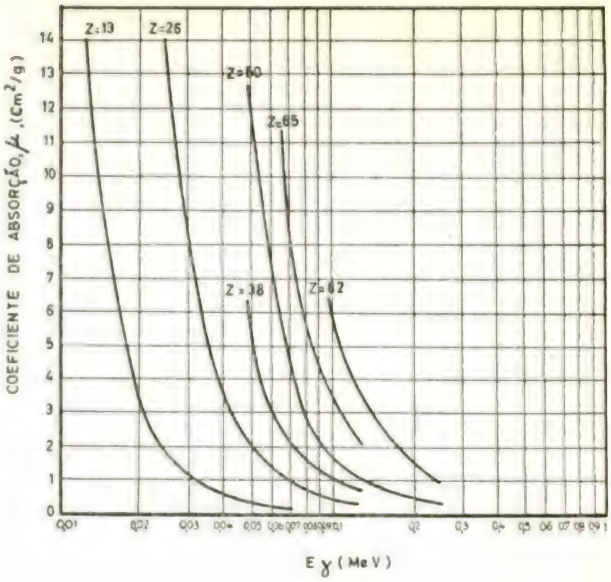



Fig. 2-5

meio material, à espessura que esse meio deve possuir para que a intensidade do feixe paralelo de fotões que o atravessa se reduza a metade.

É uma grandeza fácil de determinar experimentalmente e que permite o cálculo do coeficiente de absorção, em função da energia dos fotões, para um dado meio material.

Para:

$$l = l_{1/2} \quad \text{é} \quad I = \frac{I_o}{2}$$

$$\frac{I_o}{2} = I_o \, . - \mu \, . \, l_{1/2}$$

$$ln\, 2 = \mu \, . \, l_{1/2}$$

$$\mu = \frac{ln\, 2}{l_{1/2}} \qquad (6)$$

A fig. 2-6 [2] representa a variação de $l_{1/2}$ com a energia $E_\gamma$, para o Alumínio e Chumbo.

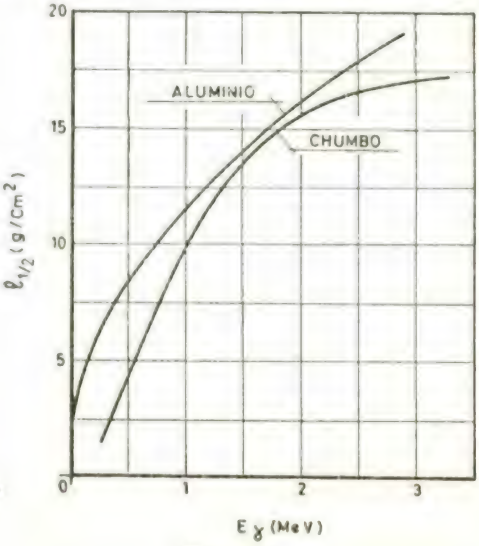



Fig. 2-6

## 2.6 — Relação espessura a medir — energia dos fotões

Consideremos um meio material com a espessura nominal l. Pretende-se saber qual deverá ser a energia dos fotões incidentes tal que, para pequenas variações de l a variação da intensidade do feixe que atravessa o meio material seja máxima.

Para isso basta saber qual deverá ser o valor de $\mu$ ou $l_{1/2}$ que torna máximo $\frac{dI}{dl}$ para a ordem de grandeza da espessura l que se pretende medir.

Trata-se portanto de uma condição de máxima sensibilidade para a zona de espessura a medir.

Teremos então:

$$I = I_o \cdot e^{-\mu \cdot l}$$

$$\frac{dI}{dl} = -\mu \cdot I_o \cdot e^{-\mu \cdot l}$$

$$\frac{d}{d\mu}\left(\frac{dI}{dl}\right) = -I_o \cdot e^{-\mu \cdot l} + \mu \cdot l \cdot I_o \cdot e^{-\mu \cdot l} = 0$$

$$I_o\, e^{-\mu \cdot l}\,(\mu \cdot l - 1) = 0$$

Como:

$$I = I_o \cdot e^{-\mu \cdot l} \neq 0$$

terá de ser:

$$\mu \cdot l - 1 = 0$$

e

$$\mu = \frac{1}{l}$$

Atendendo ao significado de $l_{1/2}$ teremos:

$$l_{1/2} = \ln 2 \cdot l = 0{,}693 \cdot l \qquad (7)$$

A partir de l calcula-se $l_{1/2}$, ao qual, para um dado número atómico, corresponde uma energia ideal para os fotões incidentes, de modo a que a sensibilidade seja máxima.

## 2.7 — Meios materiais constituídos por átomos de número atómico diferente

Consideremos um meio material constituído por diversos elementos químicos com a composição ponderal:

$$\begin{array}{ll} Z_1 \ldots\ldots\ldots\ldots & p_1 \cdot 100\% \\ Z_2 \ldots\ldots\ldots\ldots & p_2 \cdot 100\% \\ \vdots & \vdots \\ Z_i \ldots\ldots\ldots\ldots & p_i \cdot 100\% \\ \vdots & \vdots \\ Z_n \ldots\ldots\ldots\ldots & p_n \cdot 100\% \\ \hline & 100\% \end{array}$$

tal que:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$$

A contribuição dos átomos de número atómico $Z_i$ para o coeficiente de absorção linear total, será:

$$(\Sigma_{Z_i})' = (\Sigma_{Z_i})'_1 + (\Sigma_{Z_i})'_2 + (\Sigma_{Z_i})'_3 = \rho \cdot p_i \cdot$$

$$\cdot \left[\frac{N_a \cdot (\sigma_i)_1}{[A_i]} + \frac{Z_i \cdot N_a \cdot (\sigma_i)_2}{[A_i]} + \frac{N_a \cdot (\sigma_i)_3}{[A_i]}\right] =$$

$$= \rho \cdot p_i\, \mu_{Z_i} = p_i \cdot \Sigma_{Z_i}$$

O coeficiente de absorção linear total será:

$$\Sigma = \sum_{i=1}^{n} (\Sigma_{Z_i})' = \sum_{i=1}^{n} \rho \cdot p_i \cdot \mu_{Z_i} = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \Sigma_{Z_i}$$

O coeficiente de absorção mássica total será:

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\Sigma_{Z_i})'}{\rho} = \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \mu_{Z_i}$$

## 2.8 — Feixe de fotões paralelos polienergéticos

Consideremos o feixe incidente constituído por fotões de diversas energias, em número finito, e de composição constante.

Seja $I_o$ a intensidade do feixe incidente, constituído por fotões de *n* energias diferentes, tal que, à energia $E_i$ corresponde a intensidade $I_{o_i} = q_i \cdot I_o$.

A intensidade do feixe de energia $E_i$ transmitido através da espessura l será:

$$I_i = I_{o_i}\, e^{-\mu_i \cdot l} = q_i \cdot I_o\, e^{-\mu_i \cdot l}$$

A intensidade total do feixe transmitido será:

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i = \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot I_o \cdot e^{-\mu_i \cdot l} =$$

$$= I_o \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot e^{-\mu_i \cdot l}$$

Vemos que a representação gráfica de I em função de l, em papel semilogarítmico, será uma recta se os fotões forem monoenergéticos, mas deixará de o ser no caso de um feixe polienergético.

Desde que o número $n$ de energias diferentes presentes no feixe seja pequena, os seus valores suficientemente afastados e as intensidades relativas apropriadas, é possível decompor gràficamente a curva que traduz $I = f(l)$ em tantas rectas quantas as energias presentes.

## 3 — Detecção da radiação $\gamma$

### 3.1 — Introdução

Dos métodos correntes de detecção há dois tipos fundamentais a considerar:

a) *Medida do número de impulsos*

Consiste em medir o número de impulsos eléctricos originados no detector, na unidade de tempo, pelos fotões que o atravessam, número esse que é proporcional à intensidade do feixe de radiação $\gamma$ que incide no detector.

O dispositivo experimental normalmente usado, consta fundamentalmente de um detector de Geiger ou de cintilação, acoplado a um «Scaler» ou a um «Ratemeter».

Usando um «Scaler», a precisão da medida devido à natureza estatística do fenómeno da desintegração radioactiva é dada por:

$$\eta_s = \frac{100}{\sqrt{N}} \%$$

em que N é o número total de impulsos contados durante o tempo de medida.

Usando um «Ratemeter», teremos:

$$\eta_R = \frac{100}{\sqrt{2.n.T}} \%$$

em que $n$ é o número de impulsos, por unidade de tempo, que o detector acusa e $T$ a constante de tempo do circuito integrador.

b) *Medida da corrente de ionização*

Consiste em medir a corrente eléctrica originada no detector em consequência da ionização provocada pelos fotões que o atravessam, corrente essa que é proporcional à intensidade do feixe de radiação $\gamma$ que incide no detector.

O dispostivo experimental normalmente usado, consiste fundamentalmente de uma câmara de ionização acoplada a um electrómetro, particularmente do tipo «Vibrating reed».

Devido ao baixo poder ionizante da radiação $\gamma$, este método de detecção só é aplicável desde que a intensidade do feixe de radiação $\gamma$ seja suficientemente elevada, de modo a permitir a obtenção de correntes de ionização mensuráveis.

Nestas condições, o êrro que advem devido à natureza estatística do fenómeno da desintegração radioactiva, torna-se despresível em face dos restantes erros experimentais, particularmente, quando se usa no circuito do electrómetro uma constante de tempo suficientemente grande.

### 3.2 — Método utilizado

A espessura total da chapa metálica a medir é cerca de 0,250". Como se pretende detectar variações da ordem dos 0,001", o método experimental deverá ter uma sensibilidade da ordem dos 0,4% e consequentemente uma precisão maior ou pelo menos igual.

Usando um «Scaler», para $\eta_s = 0{,}2\%$ terá de ser N = 250.000.

Se este estiver acoplado a um detector de Geiger, não convém que o número de impulsos contados seja superior a 10.000 por minuto, devido às correcções do tempo morto. Isto representa tempos de medida da ordem dos 25 minutos o que se torna impraticável.

Usando um detector de cintilações, devido ao seu baixo tempo morto, o número de impulsos medidos por minuto pode ser muito maior. Conseguem-se assim tempos de medida da ordem dos 30 seg. para uma mesma precisão.

Para intensidades desta ordem podemos já usar um Ratemeter em vez de um Scaler, visto que a precisão será a mesma desde que a constante de tempo do circuito seja da ordem dos 20 seg.

Vê-se, portanto, que a precisão a impor ao método exige o uso de intensidades muito elevadas, condição essa que nos permite considerar o método de detecção baseado na medida de correntes de

ionização, que oferece a grande vantagem de exigir equipamento electrónico menos complicado e mais barato.

Nestas condições, adoptou-se o método da câmara de ionização associada a um «Vibrating reed electrometer».

### 3.3 — Câmara de ionização

Construiu-se uma câmara de ionização, alimentada por pilhas, de acordo com o esquema da fig. 3 — 1, e utilizou-se como gás de enchimento o Xenon (Z = 54) à pressão de uma atmosfera.

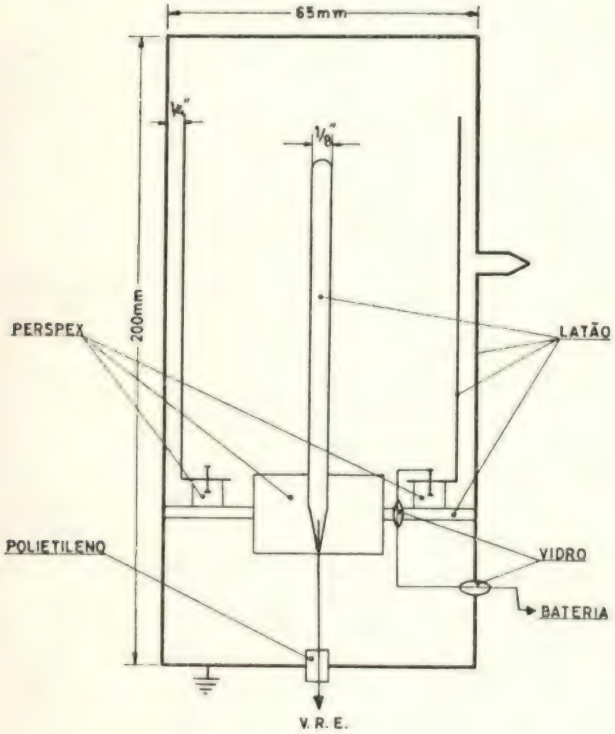



Fig. 3-1

De acordo com os resultados encontrados na determinação do patamar, escolheu-se para tensão de trabalho E = 96 Volts, (Quadro 3 — 1 e fig. 3 — 2).

QUADRO 3 — 1

| E Volts | mV |
|---|---|
| 9 | 82.0 |
| 24 | 88.0 |
| 48 | 91.5 |
| 72 | 92.0 |
| 96 | 92.5 |
| 120 | 93.0 |

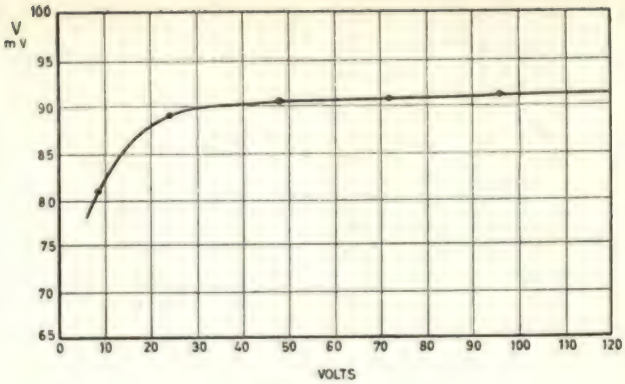



Fig. 3-2

### 3.4 — «Vibrating reed electrometer»

Usou-se um «vibrating reed electrometer», tipo 1079 C, fabricado pela Ecko Cole Ltd., e constituído por duas unidades:

*Unidade indicadora,* que contém o galvanómetro de medida, fontes de alimentação e a maioria dos circuitos electrónicos. É alimentada pela tensão da rede e pode ser instalada até cerca de 60 metros de distância do local em que se encontra a câmara de ionização e o electrómetro.

*Electrómetro:* contém o condensador, cuja capacidade varia com uma frequência de cerca de 500 ciclos/seg., e a resistência através da qual é gerada a diferença de potencial que se lê no galvanómetro da unidade indicadora.

Essa resistência pode tomar os valores $10^8$, $10^{10}$ ou $10^{12}\,\Omega$ reguláveis por um interruptor.

O electrómetro deve estar colocado perto da câmara de ionização.

## 4 — Fonte de radiação $\gamma$

### 4.1 — Características ideais

Como se viu anteriormente, conhecido o material cuja espessura se pretende medir e a ordem de grandeza dessa espessura, é possível calcular a energia que os fotões devem possuir, para que a sensibilidade do método seja máxima.

Devido ao número limitado de nuclidos radioactivos existentes, é muito pouco provavel poder dispor-se de uma fonte, cujo espectro da radiação $\gamma$ emitida seja exactamente aquele ao qual corresponde um máximo de sensibilidade, para a zona de espessuras a medir.

Na prática, para cada caso, há que escolher entre as fontes disponíveis aquela cujo espectro $\gamma$ se aproxima mais do espectro ideal.

QUADRO 4 — 1

| | $Tm^{170}$ | $Ir^{192}$ | $Co^{60}$ |
|---|---|---|---|
| Período de semi-desintegração | 127 dias | 74,4 dias | 5,25 anos |
| Energia β máxima em MeV | 0,87 (22 %)<br>0,97 (78 %) | 0,097 (1 %)<br>0,26 (8 %)<br>0,54 (35 %)<br>0,67 (50 %)<br>Cap. Elect. (6 %) | 0,3 (100 %) |
| Energia γ em MeV | 0,084 (3 %)<br>R. X — 0,053 (8 %)<br>R. X — 0,008 (2,5 %) | 0,296<br>0,308<br>0,316<br>0,468<br>0,484<br>0,604<br>0,613 | 1,17 (100 %)<br>1,33 (100 %) |
| Diâmetro e altura das fontes em mm (fontes cilíndricas) | 2 × 2<br>3 × 3 | 1 × 1<br>2 × 2<br>4 × 4<br>6 × 6 | 2 × 2<br>4 × 4<br>6 × 6 |
| Reacção de Preparação | $Tm^{169}$ (n,γ) $Tm^{170}$ | $Ir^{191}$ (n,γ) $Ir^{192}$ | $Co^{60}$ (n,γ) $Co^{60}$ |
| Secção eficaz para a reacção de preparação, em barns | 130 | 370 | 36 |
| Intensidade de dose recebida a 1 metro de distância, de uma fonte pontual de um milicurie em mr/h | Despresível | 0,5 | 1,35 |

Se atendermos à necessidade de dispor de uma fonte com um período de semi-desintegração elevado, para que a actividade não descreça muito ràpidamente no tempo, e à necessidade de usar actividades suficientemente grandes para que os tempos de medida e precisão do método sejam adequados, as limitações na escolha são ainda maiores.

### 4.2 — Fontes disponiveis

Na altura em que se realizou o presente trabalho estava-se limitado ao uso de fontes de $Tm^{170}$, $Ir^{192}$ ou $Co^{60}$, por serem as únicas existentes em AERE com actividade e período de semi-desintegração mais adequados.

As suas características principais encontram-se no quadro 4 — 1.

As figs 4 — 1, 4 — 2 e 4 — 3 [3], mostram as curvas de transmissão da radiação γ no aço para fontes de $Tm^{170}$, $Ir^{192}$ e $Co^{60}$.

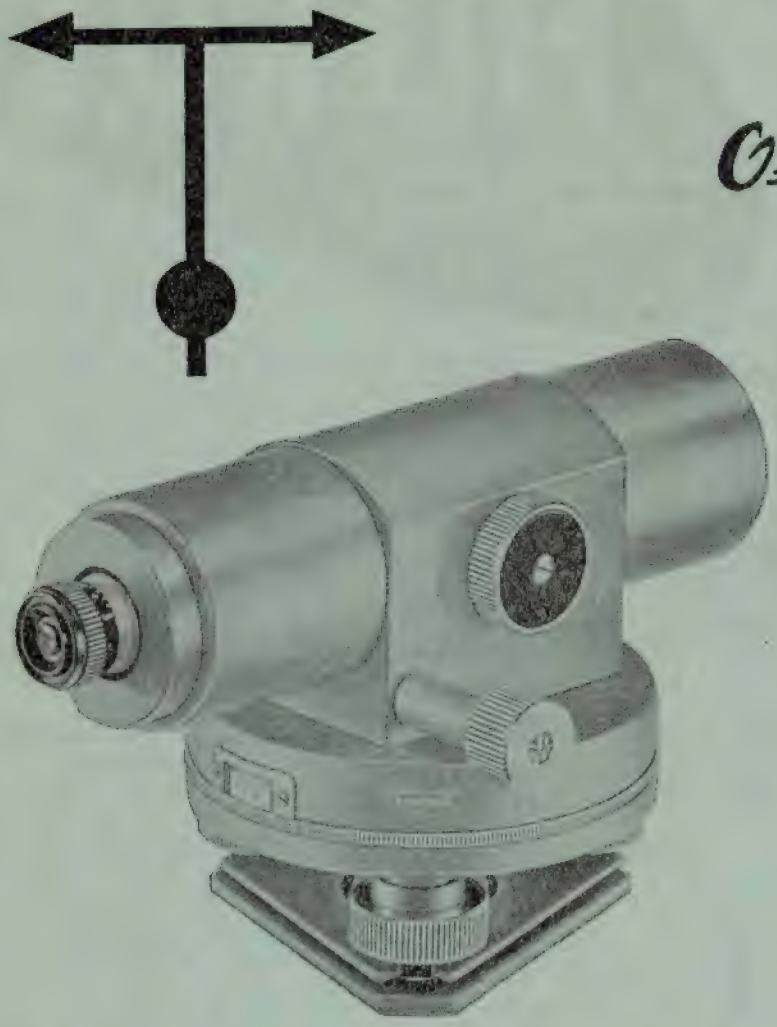
A partir dessas curvas pode-se calcular, para cada fonte, os valores da semi-espessura de absorção no aço. Conhecido esse valor, as equações (3) e (7) permitem calcular a espessura de aço à qual corresponde uma sensibilidade máxima.

No quadro 4 — 2 indicam-se os valores calculados para cada fonte, assim como as espessuras de aço para as quais as fontes de $Tm^{170}$, $Ir^{192}$ e $Co^{60}$ são normalmente usadas na prática.

QUADRO 4 — 2

| Fontes | Semi-espessura de absorção no aço | Espessuras de aço correspondente à máxima sensibilidade | Espessuras de aço para as quais as fontes são normalmente usadas |
|---|---|---|---|
| $Tm^{170}$ | 0,03″<br>0,25″ | 0,043″<br>0,36″ | 0,05″ — 0,5″ |
| $Ir^{192}$ | 0,43″ | 0,62″ | 0,5″ — 2″ |
| $Co^{60}$ | 0,71″ | 1,03″ | 1″ — 6″ |

# NÍVEL AUTOMÁTICO



*Otto-Fennel*

Moderno aparelho equipado com um sistema prismático pendular, colocando automàticamente a linha de mira na sua posição horizontal.

A simplicidade e robustez do processo utilizado e o seu grande rendimento de trabalho, tornam este aparelho excepcionalmente dotado para todos os nivelamentos técnicos

**CARACTERÍSTICAS**

**Luneta** — Nivelamento com focagem interna, óptica tratada, imagem direita Comprimento 200 mm Ampliação 20 x. abertura da objectiva 25 mm. Distância mínima de mira 2,5 m. Constante de adição zero. Constante de multiplicação 100

**Círculo horizontal** — Diâmetro 100 mm. Graduação 1° 1 g.
Leitura directa 1° 1 g. Leitura por avaliação 6 10°

Sensibilidade do nível esférico: 8′
Tripe extensível, caixa metálica com pequenos acessórios
Pesos· aparelho 2 kg, caixa 2,400 kg; tripé 5,200 kg

REPRESENTANTES

**PAPELARIA FERNANDES — S. A. R. L.**

**L. DO RATO, 13 — TEL. 68 21 31 / 39 — R. DO OURO, 145 — TEL. 2 83 61 / 2 60 66**

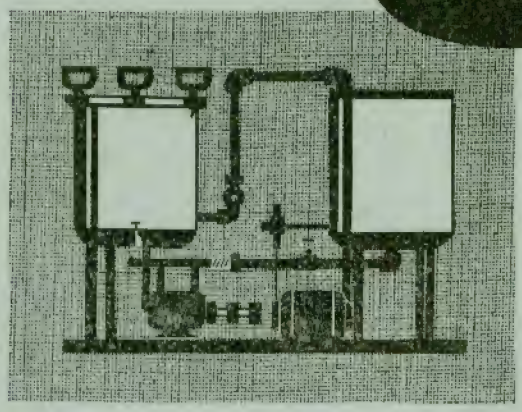
**LISBOA**

# filtros FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açúcar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria química

*FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO*



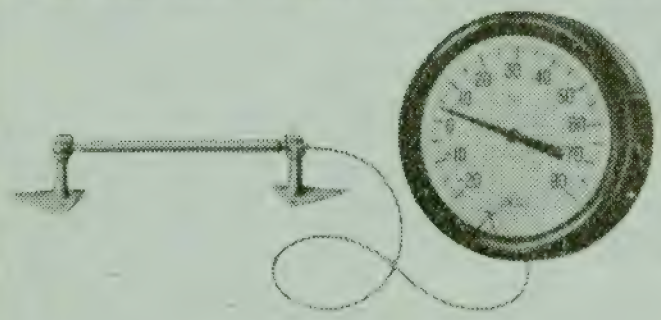
Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

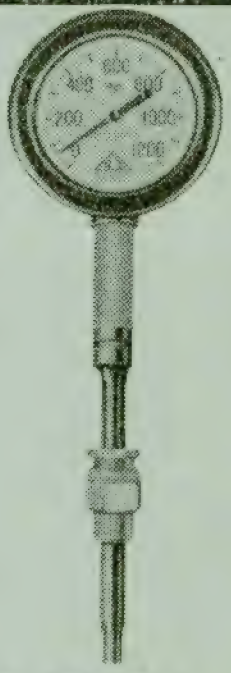
Dezenas de instalações a funcionar no país atestam a sua excelente qualidade.

RUA CAPITÃO FILIPE DE SOUSA, 128
**CALDAS DA RAINHA**

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

# Leituras claras e rigorosas





Termómetros de mostrador para todos os fins industriais com a garantia NEGRETTI & ZAMBRA quanto a precisão e robustez.
À esquerda, um dos novos tipos "Standard" e, à direita, um dos modelos próprios para motores Diesel — apenas dois exemplos de uma larga gama abrangendo centenas de modelos.
Grande variedade de modelos para entrega imediata na fábrica.

***NEGRETTI & ZAMBRA***

Peça catálogo em Português aos *Representantes exclusivos em Portugal e Provincias Ultramarinas:*
**MARTIN LESLIE & CIA. LDA.**
Campo das Cebolas, 43 3.º D. - LISBOA-2
Tel. 32824 e 35234

Sede: NEGRETTI & ZAMBRA LTD.
*Regent Street, London W.1*

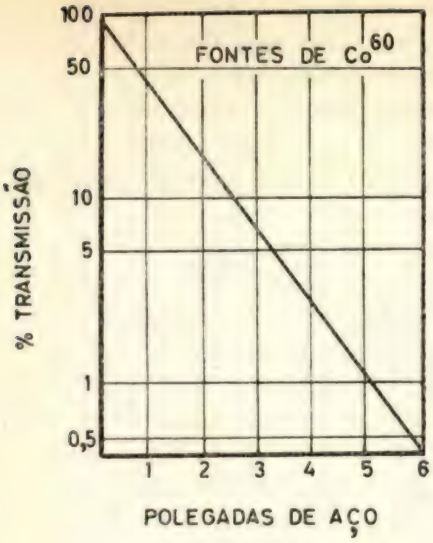



Fig. 4-1

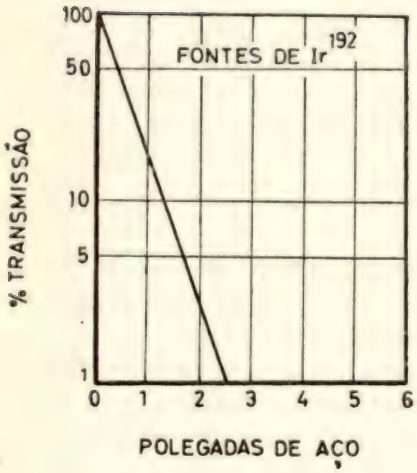



Fig. 4-2

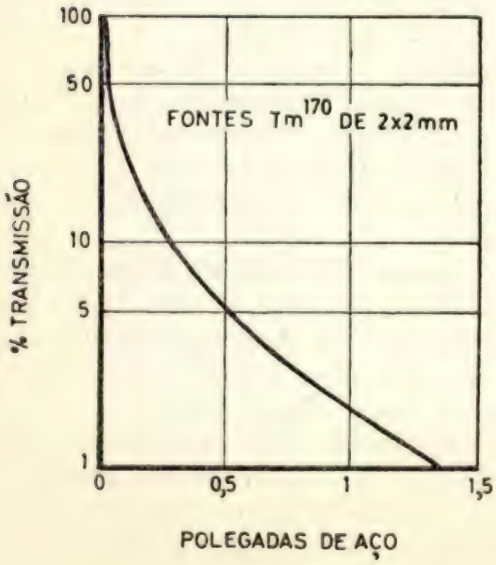



Fig. 4-3

### 4.3 — Fonte de radiação $\gamma$ escolhida

Como a espessura total de aço é da ordem das 0,250", escolheu-se o $Tm^{170}$.

Usaram-se 4 fontes cilíndricas do tipo empregado em radiografia [3], de dimensões 2 × 2 mm, e com uma actividade total da ordem dos 350mc, que um ensaio prévio mostrou ser suficiente para a sensibilidade e precisão desejadas.

As 4 fontes foram montadas num colimador, cujo esquema se indica na fig. 4 — 4, de modo a limitar o diâmetro do feixe de radiação $\gamma$ e torná-lo tanto quanto possível paralelo.

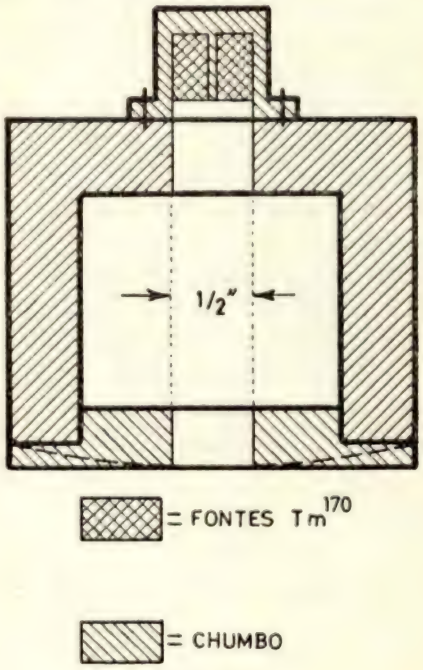



Fig. 4-4

Para trabalhos de rotina prevê-se a justaposição de uma folha de aço, indicada a tracejado na fig. 4-4, de modo a facilitar o contacto fonte-superfície a medir.

## 5 — Dispositivo experimental

### 5.1 — Peça a medir

Por não existir nenhuma peça com a configuração e dimensões enunciadas, na altura em que se realizaram os ensaios experimentais, recorreu-se ao artifício de usar duas chapas de aço de igual espessura, e = 0,126", dispostas paralelamente entre si, e cuja distância mútua se fez variar de 0" a 1".

## 5.2 — Vibrating reed electrometer

### 5.2.1 — *Escala do Galvanómetro*

A curva de transmissão da radiação $\gamma$ do $Tm^{170}$ através chapas aço mostra-nos que na zona das 0,250″ a percentagem de transmissão é cerca de 6 %, e que a uma variação de 0,001″ nessa zona de espessuras corresponde uma variação na intensidade do feixe transmitido de cerca de $\pm$ 0,04 %.

Como é necessário que a cada divisão da escala do milivoltímetro não corresponda mais do que 0,001″ na zona das 0,250″, a escala do milivoltímetro deverá estar subdividida em, pelo menos, 150 divisões.

Porém, como o milivoltímetro só tem duas escalas, uma de 30 e outra de 50 divisões, foi necessário recorrer a um artifício de modo a poder-se usar a escala de 30 divisões, que é a mais sensível.

Este artifício consistiu em ligar um circuito exterior aos terminais do milivoltímetro, esquematizado na fig. 5-1, o qual origina uma d.d.p. $V_1$, que se opõe à d.d.p. V criada pela passagem da corrente de ionização, de tal modo que no milivoltímetro ler-se-á uma d.d.p. $V_2 = V - V_1$.

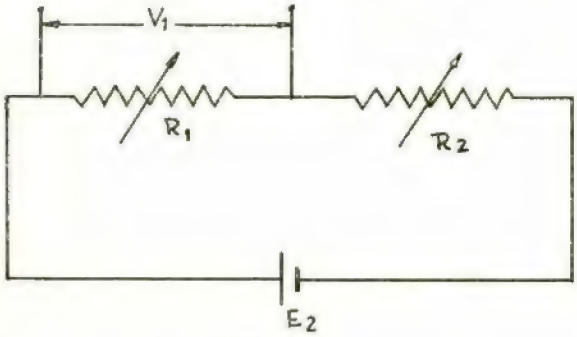



Fig. 5-1

Atendendo à fig. 5-1, vê-se que o valor de $V_1$, é dado pela expressão:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_2$$

Sendo:

$R_1$ — resistência variável de 0 — 20.000 Ω
$R_2$ — resistência variável de 0 — 20.000 Ω
$E_2$ — pilha de 4,4 volts.

Nestas condições, é possível fazer corresponder ao meio da escala do milivoltímetro uma espessura de 0,250″, em relação ao qual o ponteiro pode oscilar de $\pm$ 15 divisões, o que, admitindo uma variação linear, permite medir variações de $\pm$ 0,015″ com a sensibilidade desejada.

### 5.2.2 — *Constante de tempo*

Para as correntes de ionização em jogo torna-se necessário usar a resistência $R = 10^{10}\,\Omega$.

Como o condensador associado tinha uma capacidade C = 10 pF, a constante de tempo do circuito era igual a T = 0,1 seg.

Com uma constante tão pequena, o milivoltímetro torna-se demasiado sensível às variações de natureza estatística da corrente de ionização, o que não permite efectuar leituras com a precisão necessária.

Por essa razão substituiu-se o condensador de origem por outro com uma capacidade C = 1500 pF, passando a constante de tempo a ser T = 15 seg

### 5.2.3. — *Influência da temperatura*

Para que o método de detecção seja preciso é necessário que o dispositivo experimental seja estável ao longo do tempo.

Para averiguar o grau de estabilidade da instalação, associou-se ao «Vibrating reed electrometer» um registador de papel, que registou durante dias consecutivos as d. d. p. medidas pelo milivoltímetro, para uma dada geometria da fonte $\gamma$ — câmara de ionização, que se manteve constante durante toda a experiência.

Verificaram-se oscilações da ordem dos 0,5 a 1 %, em relação ao valor médio, as quais se atribuiram à variação do valor da resistência R, através da qual é originada a d. d. p. medida, como consequência de variações da temperatura ambiente.

Para determinar a influência da temperatura na estabilidade da instalação, colocou-se numa estufa, de temperatura regulável por um termostato, a unidade que contém a resistência $R = 10^{10}\,\Omega$, e repetiu-se a experiência anterior.

Ao fim de quatro dias, e para uma temperatura de 23,0 $\pm$ 0,4° C, as d.d.p. registadas mostraram que a estabilidade era superior a 0,05 %.

Como os intervalos de tempo, ao longo dos quais foram realizadas as medições, não eram despre-

síveis em relação ao periodo de semi-desintegração do $Tm^{170}$, houve que corrigir todas as medidas em relação a um mesmo dia e hora.

Determinou-se em seguida a taxa de variação, a que estavam sujeitas as leituras efectuadas no milivoltímetro, devido à variação da temperatura.

Os resultados experimentais encontram-se no quadro 5 — 1 e fig. 5 — 2.

QUADRO 5 — 1

$R_1 = 5160$

$R_2 = 20.000$ $\qquad V = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} E_2 = 902$ mV

$E_3 = 4{,}4$ Volts

| Temperatura °C | $V_2$ medido m V | V total = $= V_1 + V_2$ m V | Total corrigido m V | ΔV em relação a 23 °C m V |
|---|---|---|---|---|
| 23 | 45 | 947 | 948 | 0 |
| 30 | 50 | 952 | 954 | 6 |
| 38 | 54 | 956 | 963 | 15 |
| 47 | 57 | 959 | 975 | 27 |

medida, mantendo constantes todas as outras variáveis.

Para evitar tais variações, incompatíveis com a precisão que se deseja atingir, será necessário manter a resistência $R = 10^{10}\,\Omega$ do circuito do Vibrating Reed Electrometer a uma temperatura constante.

### 5.3 — Sensibilidade do sistema de detecção

Para determinar a espessura, à qual corresponde uma sensibilidade máxima, mediu-se a variação de V em função da espessura, para uma variação de espessura de 1/15.

Para verificar se a sensibilidade na zona de interesse era suficiente, mediu-se a variação de V em função de espessura, para variações de espessura de 0,001".

No quadro 5 — 2 apresentam-se os resultados experimentais obtidos para espessuras até 0,518", e no quadro 5 — 3 os resultados de outra série de medições, na qual a zona de maior sensibilidade é estudada em mais detalhe.

A curva da fig. 5 — 3, que mostra a variação de ΔV em função da espessura para variações

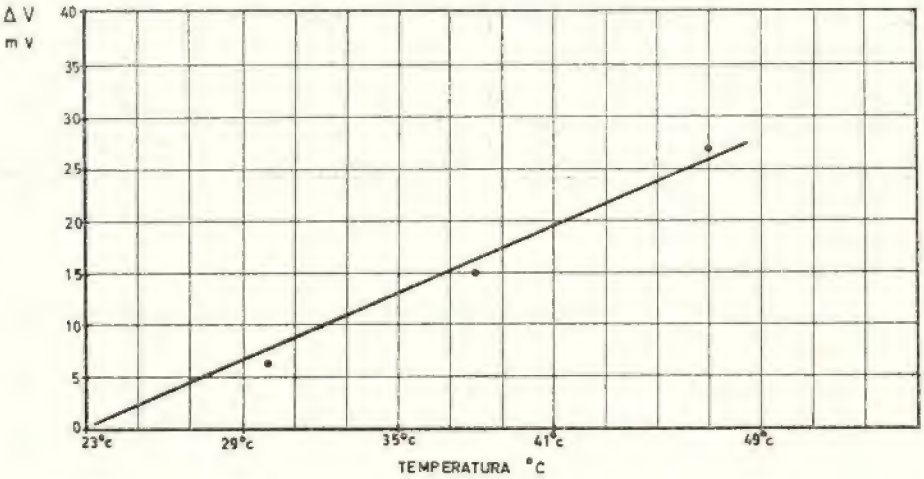



Fig. 5-2

Da fig. 5 — 2 tira-se que:

$$(\Delta V)\ \%\ °C = \frac{11}{948} \cdot \frac{100}{10} = 0{,}11 \text{ a } 0{,}12\ \%\ °C$$

Para uma variação da temperatura ambiente de 17–18°C, possível ao longo de 24 horas, corresponde uma variação de 2 % no valor da d. d. p.

de 1/15 da espessura, apresenta dois máximos aos quais correspondem as espessuras 0,045" e 0,067".

Tendo em atenção as equações (6) e (7), é possível calcular a semi-espessura de absorção e o coeficiente de absorção mássica, a partir dos valores da espessura aos quais correspondem os máximos da fig. 5 — 3.

QUADRO 5 — 2

| Espessura $\times 10^{-3}$ polegadas | 1/15 da espessura $\times 10^{-3}$ polegadas | ΔV para 1/15 da espessura m V | ΔV para uma variação da espessura de 0,001" m V |
|---|---|---|---|
| 15 | 1 | 34 | 34,0 |
| 39 | 2,6 | 50 | 19,2 |
| 43 | 2,86 | 52 | 18,2 |
| 45 | 3 | 55 | 18,4 |
| 47 | 3,1 | 53 | 17,2 |
| 51 | 3,4 | 48 | 14,2 |
| 63 | 4,2 | 46 | 11,0 |
| 86 | 5,7 | 41 | 7,20 |
| 103 | 6,86 | 33 | 4,80 |
| 142 | 9,5 | 25 | 2,63 |
| 176 | 11,7 | 20 | 1,71 |
| 215 | 14,3 | 17 | 1,19 |
| 264 | 17,6 | 15 | 0,850 |
| 318 | 21,2 | 14 | 0,660 |
| 380 | 25,3 | 10,5 | 0,415 |
| 443 | 29,3 | 9 | 0,309 |
| 518 | 34,7 | 7 | 0,200 |

QUADRO 5 — 3

| Espessura $\times 10^{-3}$ polegadas | 1/15 da espessura $\times 10^{-3}$ polegadas | ΔV para 1/15 da espessura m V |
|---|---|---|
| 15 | 1 | 29 |
| 39 | 2,6 | 44 |
| 41 | 2,73 | 45 |
| 43 | 2,87 | 47 |
| 45 | 3,00 | 49 |
| 47 | 3,13 | 48 |
| 49 | 3,27 | 46 |
| 51 | 3,4 | 46 |
| 53 | 3,53 | 44 |
| 55 | 3,67 | 43 |
| 57 | 3,8 | 42 |
| 59 | 3,93 | 41 |
| 61 | 4,07 | 42 |
| 63 | 4,2 | 43 |
| 65 | 4,33 | 43 |
| 67 | 4,47 | 44 |
| 69 | 4,6 | 41 |
| 71 | 4,73 | 40 |
| 73 | 4,87 | 40 |
| 75 | 5,0 | 40 |
| 77 | 5,13 | 39 |
| 86 | 5,73 | 39 |

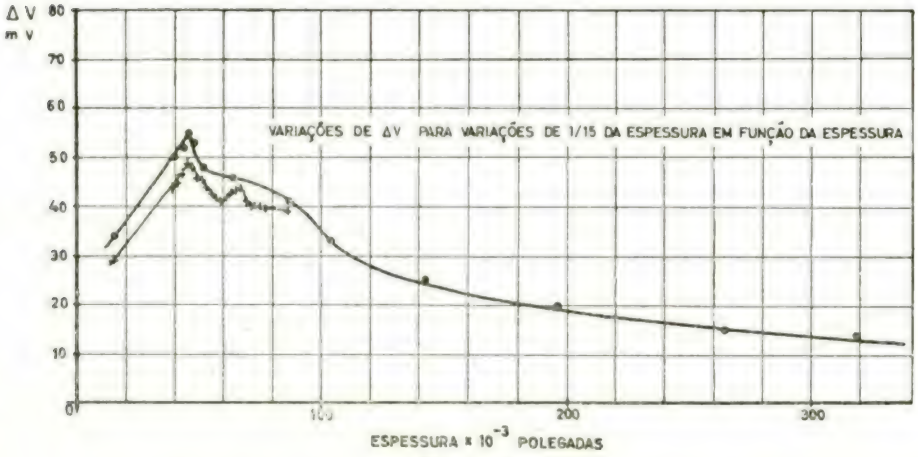



Fig. 5-3

Esses valores são respectivamente:

$$\text{Max. } 0{,}045'' \begin{cases} (l_{1/2})_1 = 0{,}693 \times 0{,}045 \times 2{,}54 \times \\ \qquad \times 7{,}8 = 0{,}617 \text{ g/cm}^2 \\ \mu_1 \quad = 0{,}693/0{,}617 = 1{,}12 \text{ cm}^2/\text{g} \end{cases}$$

$$\text{Max. } 0{,}067'' \begin{cases} (l_{1/2})_2 = 0{,}693 \times 0{,}067 \times 2{,}54 \times \\ \qquad \times 7{,}8 = 0{,}922 \text{ g/cm}^2 \\ \mu_2 \quad = 0{,}693/0{,}922 = 0{,}75 \text{ cm}^2/\text{g} \end{cases}$$

Conhecido o valor de $\mu$ e admitindo que para o aço é $Z = 26$, a fig. 2 — 5 permite calcular o valor da energia dos fotões emitidos pelo $Tm^{170}$.

Os valores encontrados são:

$$(E\,\gamma)_{\mu_1} = 0{,}065 \text{ MeV}$$
$$(E\,\gamma)_{\mu_2} = 0{,}085 \text{ MeV}$$

Comparando estes valores com os indicados no quadro 4 — 1, verifica-se que a aproximação é bastante boa, o que permite concluir que as expressões atrás apresentadas estão de acordo com os resultados experimentais.

Não se verificou a existência de um máximo na zona das 0,36" à qual deveria corresponder uma energia $E\,\gamma \simeq 0{,}22$ MeV.

Embora este resultado esteja em desacordo com as previsões feitas a partir da curva de transmissão do $Tm^{170}$ no aço, ele confirma os resultados encontrados ao analisar espectrogràficamente a radiação $\gamma$ emitida pelo $Tm^{170}$, em cujo espectro não foi identificada nenhuma energia na zona dos 0,22 MeV.

Vê-se ainda que a sensibilidade na zona que nos interessa, 0,250", está dentro dos limites impostos, visto a uma variação de 0,001" corresponder aproximadamente uma divisão do milivoltímetro.

### 5.4 — Efeito de Scattering

Para obter uma melhor resolução da área analizada em cada medição, é vantajoso que a fonte de $Tm^{170}$ fique encostada a um dos lados da peça a medir.

Para que a sensibilidade seja máxima, é conveniente que a distância entre a fonte e a câmara de ionização seja mínima.

Porém, como a espessura da camada de ar entre as duas superfícies metálicas varia, para uma distância fixa entre a câmara de ionização e a superfície externa da peça, devido ao efeito de scattering, o mesmo deverá acontecer às d.d.p. medidas pelo electrómentro, mesmo que a espessura metálica total seja constante.

Nestas condições, é fácil de prever, que quanto menor for a distância ente a fonte $\gamma$ e a câmara de ionização, maior será o efeito de Scattering, e, consequentemente, maiores serão as variações observadas nas d.d.p. medidas ao longo da superfície da peça, para uma espessura total constante.

Para se ter uma ideia do êrro que poderá ser cometido, devido ao efeito de Scattering, realizou-se a seguinte experiência:

Uma chapa de aço de espessura igual a 0,126" foi colocada junto à fonte $\gamma$, e outra de espessura igual junto à câmara de ionização, sendo a distância entre as chapas cerca de 1", ou seja, o valor máximo no caso real.

Em relação a esta posição foi medida a variação de V:

*A*) Quando se interpõe entre as duas chapas uma chapa de aço de espessura igual a 0,001".

*B*) Quando a chapa junto à fonte $\gamma$ se desloca para junto da chapa encostada à câmara de ionização.

*C*) Quando a chapa junto à câmara de ionização se desloca para junto da chapa encostadada à fonte.

Os valores obtidos, que se encontram no quadro 5 — 4, mostram que o erro devido ao efeito de Scattering, nas condições experimentais indicadas, é equivalente a uma variação de espessura da ordem das 0,006".

QUADRO 5 — 4

| Posição | V<br>m V |
|---|---|
| A | — 3 |
| B | + 9 |
| C | — 10 |

## 6 — Resultados experimentais

### 6.1 — Determinação da distância mais conveniente entre a fonte $\gamma$ e a câmara de ionização

Em relação ao dispositivo indicado esquemàticamente na fig. 6 — 1 determinou-se para vários valores de D:

*a*) O valor de $\Delta V$ quando se introduz uma chapa de aço de 0,001" entre as duas chapas A e B, e que se representa por $\Delta V_1$.

*b*) O valor de $\Delta V$ quando se faz $d = 0''$, e que se representa por $\Delta V_2$.

*c*) O valor de V total.

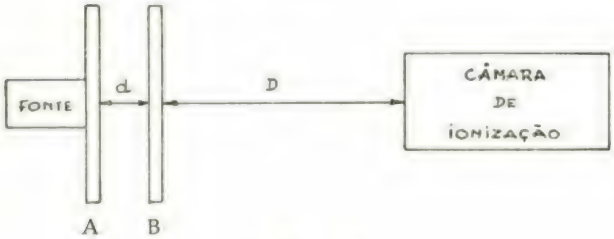



Fig. 6-1

Os resultados obtidos encontram-se no quadro 6 — 1.

QUADRO 6 — 1

| D Polegadas | $\Delta V_1$ m V | $\Delta V_2$ m V | V Total m V | $\Delta V_1/\Delta V_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2.07 | 12 | 480 | 0.17 |
| 1 | 1.73 | 4 | 420 | 0.43 |
| 2 | 1.47 | 3 | 350 | 0,49 |
| 3 | 1,23 | 1.5 | 300 | 0.82 |
| 4 | 1.07 | 1 | 260 | 1 07 |
| 5 | 0,90 | 1 | 220 | 0 90 |

Como as variações de natureza estatística a que a d.d.p. medida está sujeita é da ordem dos $\pm$ 0,5 mV, torna-se impossível a medida de $\Delta V$ para distâncias maiores que $D = 5''$.

Em face dos resultados obtidos vê-se que a

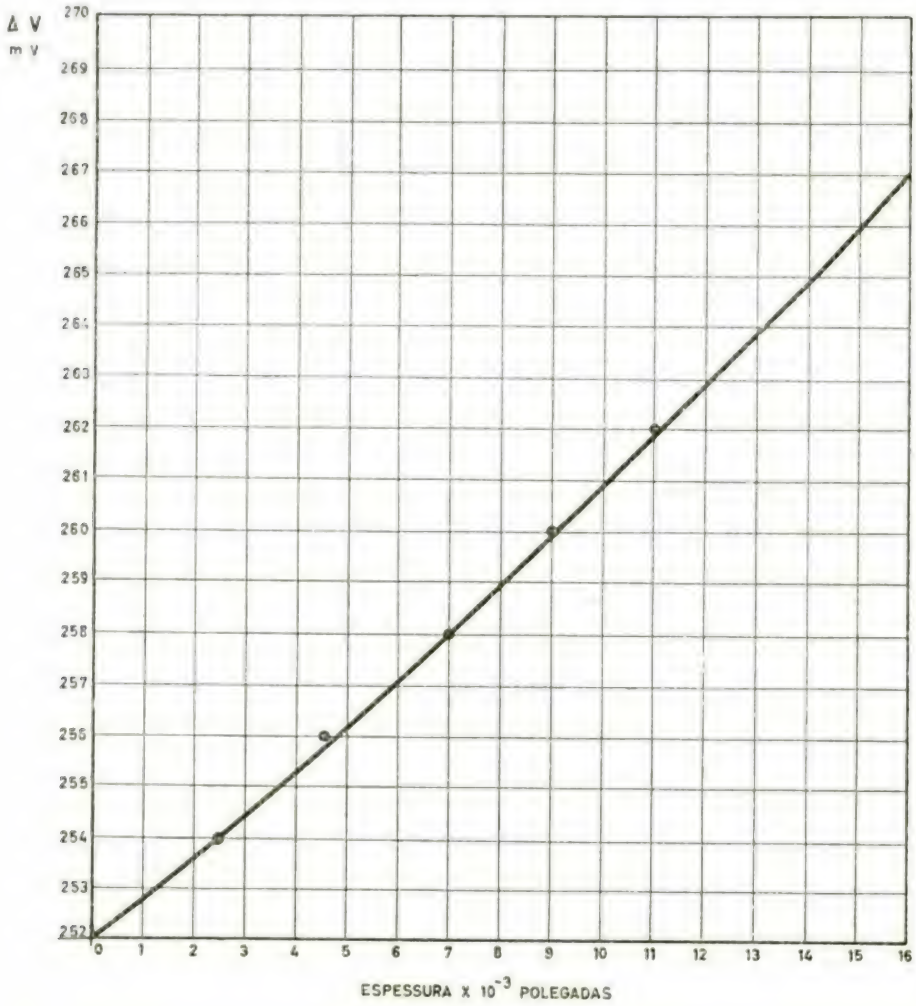



Fig. 6-2

distância mais conveniente entre a fonte $\gamma$ e a câmara de ionização, é a que corresponde a D = 4" por satisfazer as seguintes condições:

*a*) $\Delta V_1/\Delta V_2$ é máximo.
*b*) O efeito de Scattering é inferior ao efeito provocado por uma variação de espessura de 0,001", embora não seja desprezível.
*c*) A uma variação de espessura igual a 0,001", na zona das 0,250", corresponde uma divisão na escala do milivoltímetro.

### 6.2 — Curva padrão

Para D = 4" e d = 1" determinou-se a variação de V quando entre as chapas A e B se introduzem espessuras variáveis de aço.

Os resultados obtidos encontram-se no quadro 6 — 2 e fig. 6 — 2.

QUADRO 6 — 2

| Espessuras X $10^{-3}$ polegadas | Δ V m V |
|---|---|
| 252 | 0 |
| 254 | 2,5 |
| 256 | 4,5 |
| 258 | 7 |
| 260 | 9 |
| 262 | 11 |
| 267 | 16 |

Verifica-se que na zona considerada, a variação é aproximadamente linear, correspondendo a uma divisão no milivoltímetro uma variação de

$$\frac{0{,}015}{16} \times \frac{2}{0{,}252 + 0{,}267} \times 100 = 0{,}36\ \%$$

na espessura total de acordo com o enunciado do trabalho.

## 7 — Conclusões

O método ensaiado deverá permitir a detecção de variações de espessura da ordem das 0,001" ± 0,001", em peças com a configuração e dimensões indicadas na introdução, desde que se verifiquem as seguintes condições:

*a*) A fonte de radiação $\gamma$, constituída por $Tm^{170}$ e devidamente colimada, deverá ter uma actividade não inferior a 350 mc.
*b*) A distância entre a câmara de ionização e a fonte de radiação deverá ser da ordem das 5", para que o erro devido ao efeito de scattering seja inferior à sensibilidade do método.
*c*) A resistência de entrada do vibrating reed electrometer deverá ser mantida a temperatura constante, para que os resultados experimentais sejam reprodutíveis.
*d*) A constante de tempo do Vibrating reed electrometer deverá ser da ordem dos 15 segundos, de modo a evitarem-se grandes oscilações no ponteiro do milivoltímetro.
*e*) Aos terminais do milivoltímetro da unidade indicadora, deverá ligar-se um circuito externo, destinado a gerar uma d.d.p. que se opõe à d.d.p. criada pela corrente de ionização, de modo a permitir leituras com a sensibilidade necessária.
*f*) Devido ao período de semi-desintegração do $Tm^{170}$ (127 dias), as curvas padrão deverão ser aferidas pelo menos semanalmente. Pela mesma razão, será necessário reforçar periòdicamente a actividade de fonte $\gamma$.


## AGRADECIMENTOS

O trabalho que se acaba de apresentar foi realizado mercê de uma bolsa de estudo concedida pelo Instituto de Alta Cultura, através da Comissão de Estudos de Energia Nuclear, aos quais se agradece a oportunidade oferecida, particularmente ao Sr. Prof. Eng.º A. Herculano de Carvalho, presidente da referida Comissão.

Cumpre-me também agradecer ao Dr. Henry Seligman, director da Divisão de Isótopos, A. E. R. E., que permitiu a realização do estágio no seu departamento, e ao Sr. J. Cameron, da mesma Divisão, pelo valioso auxílio e colaboração prestada durante o presente trabalho.


## BIBLIOGRAFIA


1 — «Radioactive Isotopes»
por Putman e Whitehouse, Oxford Press 1953.
2 — «Moderne Radiochemical Practice»
por Cook e Duncan, Oxford Press 1952.
3 — «Catalogue radioactive materials»
Isotopo Division, A. E. R. E., Janeiro 1957.

C. D. U. 621.311.5/91

# Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

## — Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94, °/₀ dos totais do País.*

## MARÇO

### I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Março apresentou-se, no conjunto, muito acima da média

### II — Elementos gerais (GWh)

*a*) Mensais

| | 1959 | 1960 | Variação °/₀ |
|---|---|---|---|
| Produção hidráulica ($P_h$) . . . | 235,7 | 256,7 | + 9 |
| Produção térmica ($P_t$) . . . . . | 0,0 | 2,8 | — |
| Produção total ($P_T$) . . . . . | 235,7 | 259,5 | + 10 |
| Produção para consumos não perman. ($P_{cnp}$) . . | 63,5 | 63,7 | 0 |
| Produção para consumos permanentes ($P_{cp}$) . . | 172,2 | 195,8 | +13,7 (2) |

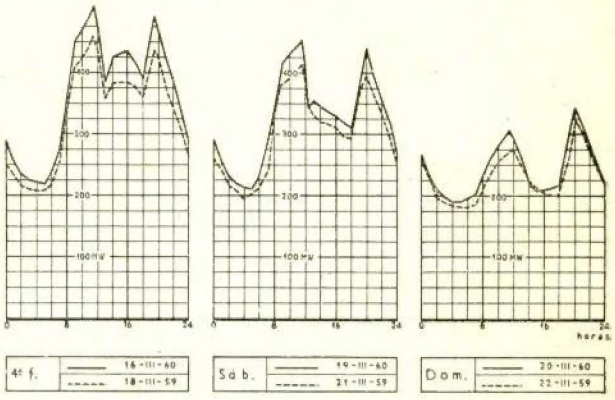
*b*) Acumulados desde 1 de Janeiro de 1959

| | 1959 | 1960 | Variação °/₀ |
|---|---|---|---|
| Produção hidráulica ($P_h$) . . . | 711,3 | 779,7 | + 10 |
| Produção térmica ($P_t$) . . . . . | 0,0 | 11,3 | — |
| Produção total ($P_T$) . . . . . | 711,3 | 791,0 | + 11 |
| Produção para consumo não perman. ($P_{cnp}$) . . | 183,6 | 184,7 | + 1 |
| Produção para consumos permanentes ($P_{cp}$) . . | 527,7 | 606,3 | +14,9 (2) |

*Nota:* (2) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, foi respectivamente de 9,3 e 11,8 °/₀.

### II — Diagrama de carga dos dias característicos

| | 4.ª feira: | |
|---|---|---|
| | 18-3-959 | 16-3-960 |
| Produção hidráulica ($P_h$) — MWh | 8041 | 8934 |
| Produção térmica ($P_t$) — MWh . . | 0 | 0 |
| Produção total ($P_T$) — MWh . . . | 8041 | 8934 |
| Produção para consumos não permanentes — MWh. . . . . | — | — |
| Utilização da ponta (U) — horas | 17,6 | 17,6 |
| Factor de carga ($\alpha$) . . . . . | 0,73 | 0,73 |
| Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r) . . . . . | 0,45 | 0,43 |




### III — Energia armazenada nas principais albufeiras

| Albufeiras: | No fim do mês | |
|---|---|---|
| | GWh | °/₀ (1) |
| Paradela . . . . . | 222,5 | 100,0 |
| Venda Nova . . . . . | 124,9 | 97,6 |
| Salamonde . . . . . | 26,0 | 94,2 |
| Caniçada . . . . . | 29,0 | 87,6 |
| Guilhofrei . . . . . | 314,9 | 92,8 |
| Lagoa Comprida . . . . . | 156,0 | 95,7 |
| Santa Luzia . . . . . | 8,2 | 98,8 |
| Cabril . . . . . | 31,7 (2) | 97,3 |
| Castelo do Bode . . . . . | 61,5 | 99,3 |
| Pracana . . . . . | 12,9 | 100,0 |
| Póvoa . . . . . | 13,1 (3) | 100,0 |
| Total . . . | 1000,7 | 95,9 |

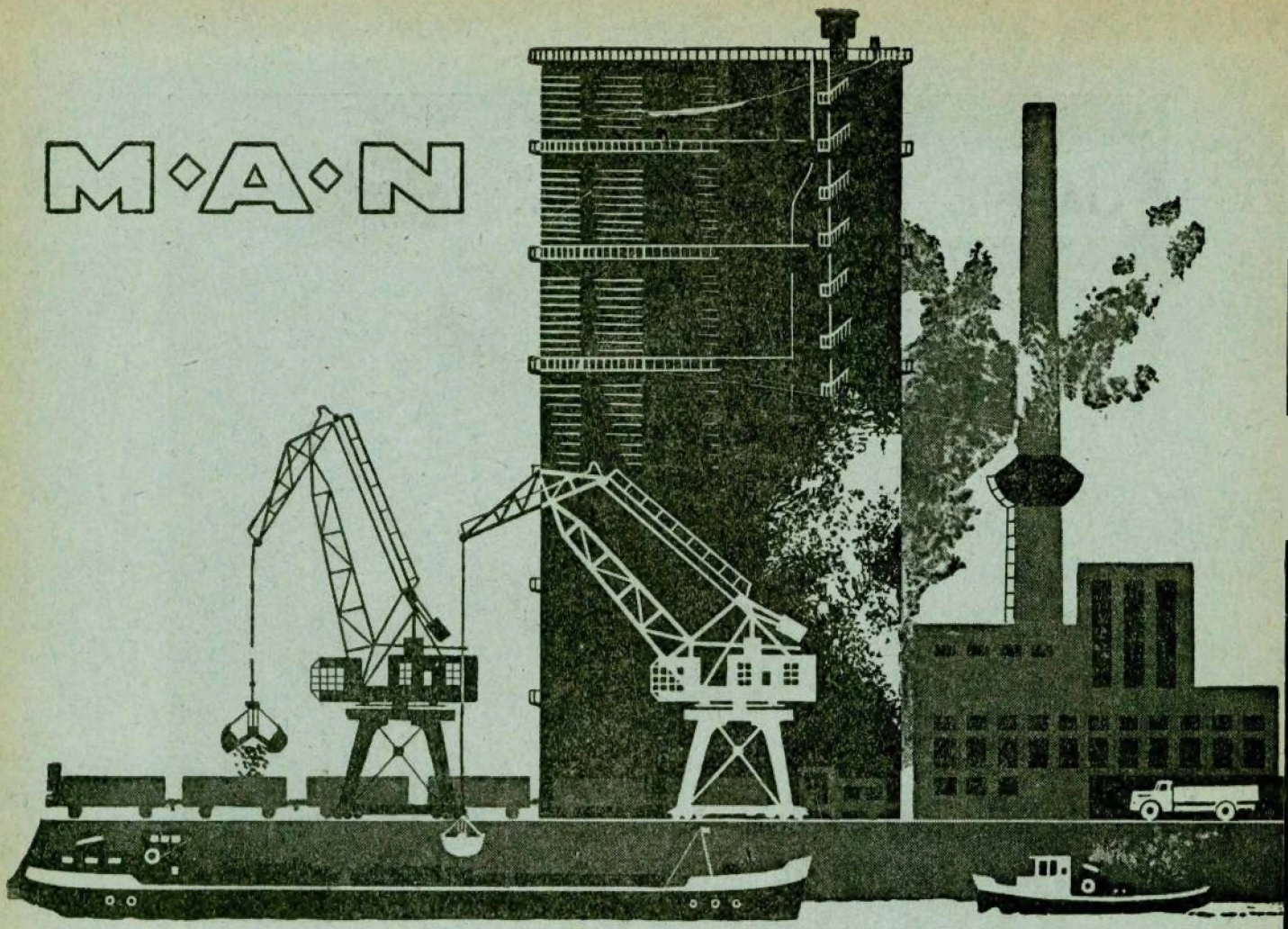
*Notas:*

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,1 GWh armazenados em Vale do Rossim.

(3) Inclui 2,7 GWh armazenados no açude do Poio.

JAYME DA COSTA, L.DA
LG
LANDIS & GYR
APARELHOS PARA
REGULAÇÃO TÉRMICA




MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG A·G · WERK NÜRNBERG

INSTALAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ A VAPOR · INSTALAÇÕES DE FORÇA MOTRIZ A GÁS · GUINDASTES E TRANSPORTADORES · MATERIAL CIRCULANTE FERROVIÁRIO · MÁQUINAS PARA ENSAIOS DE MATERIAIS · INSTALAÇÕES DE CONDICIONAMENTO DE AR · PONTES DE AÇO · INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DE AÇO · CONSTRUÇÕES METÁLICAS · BOMBAS · GASÓMETROS · CALDEIRAS A VAPOR CANALIZAÇÕES DE AÇO · MOTORES DIESEL TERRESTRES E MARÍTIMOS

REPRESENTAÇÃO GERAL PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

INDUMA

MÁQUINAS INDUSTRIAIS LIMITADA
AVENIDA ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 88-3.º · LISBOA